

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

**Návrh úpravy řezné hrany VBD pro
obrábění kalených materiálů**

Cutting edge modification design for
machining of hardened materials

Student:

Adam Čepička

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Zadání bakalářské práce

Student:

Adam Čepička

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Návrh úpravy řezné hrany VBD pro obrábění kalených materiálů
Cutting Edge Modification Design for Machining of Hardened Materials

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Problematika obrábění tvrdých materiálů.
3. Vlastní návrh úpravy VBD pro kalené materiály.
4. Diskuze experimentálních prací.
5. Technicko-ekonomické shodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

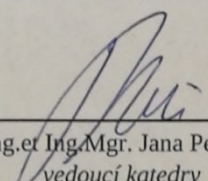
BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.
STEPHENSON, D. A.; AGAPIOU, J. S. *Metal cutting theory and practice*. New York : Marcel Dekker, Inc., 1997. ISBN 0-8247-9579-2.

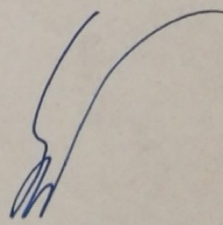
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019


doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry

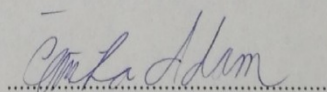

prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20. května 2019.

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Cmela Adam', is written over a horizontal dotted line.

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),

- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),

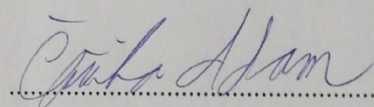
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,

- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,

- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),

- beru na vědomí, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská*) práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. května 2019.



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Adam Čepička

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Slatinky 78

Poděkování

Rád bych vyslovil velké díky panu doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc. za odbornou pomoc a užitečné rady při zpracování této bakalářské práce a panu Ing. Romanu Maršíčkovi z firmy Dormer Pramet za veškeré přínosné konzultace a rady týkající se realizace praktických zkoušek.

Abstrakt

ČEPIČKA, Adam. *Návrh úpravy řezné hrany VBD pro obrábění kalených materiálů: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojní metrologie, 2019, 52 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Bakalářská práce se zabývá problematikou obrábění tvrdých materiálů, jejich rozdělením, nástrojovými materiály a úpravami řezné hrany vyměnitelných břitových destiček. Cílem bakalářské práce je najít nejvhodnější úpravu řezné hrany pro obrábění kalených materiálu za daných řezných podmínek.

Klíčová slova: tvrdé materiály; vyměnitelné břitové destičky; obrábění; úpravy řezné hrany

Abstract

ČEPIČKA, Adam. *Cutting edge modification design for machining of hardened materials: bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2019, 52 p. Thesis head: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Bachelor thesis is focused on the topic of machining of hard materials, their division, tool materials and cutting-edge modification of cutting tools. The aim of this bachelor thesis is to find the most suitable cutting-edge modification of cutting tool for machining of hardened material under given cutting conditions.

Keywords: hard materials; cutting tools; machining; cutting-edge modification of cutting tool

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	9
Úvod	10
1. Obecná charakteristika daného problému	11
1.1. Dormer Pramet	11
2. Problematika obrábění tvrdých materiálů	11
2.1. Rozdělení materiálů dle ISO 513 pro VBD ze slinutého karbidu	11
2.1.1. Tvrdé materiály	12
2.1.2. Oceli	13
2.1.2.1. Kalené oceli	13
2.1.2.2. Nástrojové oceli	14
2.1.3. Litiny	14
2.1.3.1. Bílá litina	14
2.1.3.2. Tvrzená litina	15
2.2. Obrábění ocelí o vyšší tvrdosti	15
2.2.1. Frézování	16
2.2.2. Vysokorychlostní obrábění – High speed cutting (HSC)	16
2.2.3. Suché obrábění	17
2.3. Silové a tepelné namáhání břitu při obrábění materiálů ze skupiny H	18
3. Nástrojové materiály	18
3.1. Rozdělení nástrojových materiálů	19
3.1.1. Nástrojová ocel	19
3.1.1.1. Chemické složení a vlastnosti RO	20
3.1.1.2. Výroba a zpracování RO	21
3.1.2. Slinuté karbidy	21
3.1.2.1. Chemické složení a vlastnosti SK	22
3.1.2.2. Výroba SK	23
3.1.3. Řezná keramika	23
3.1.3.1. Rozdělení řezné keramiky	24
3.1.4. Syntetický diamant	24
3.1.4.1. Výroba PKD	25
3.1.5. Nitrid boru	25
3.2. Úpravy řezné hrany řezného nástroje	25

3.2.1.	Kartáčování.....	25
3.2.2.	Pískování	26
3.2.3.	Vlečné omílání.....	27
4.	Diskuze experimentálních prací	27
4.1.	Obráběcí stroj	28
4.2.	Charakteristika materiálu dle ČSN 19 552	29
4.3.	Nástroj	30
4.4.	Metodika měření	32
4.5.	Řezné podmínky	34
4.6.	Výsledky měření	35
5.	Technicko-ekonomické zhodnocení	48
Závěr	49
Seznam použité literatury	50

Seznam použitých značek a symbolů

ZNAČKA	NÁZEV	JEDNOTKA
VBD	Vyměnitelná břitová destička	[-]
SK	Slinutý karbid	[-]
ČSN	Česká technická norma	[-]
HRC	Tvrdost podle Rockwella	[-]
HSC	Vysokorychlostní obrábění	[-]
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci	[-]
DIN	Německý institut pro normalizaci	[-]
CBN	Kubický nitrid boru	[-]
Ac1	Kritická teplota při tepelném zpracování oceli	[°C]
Ac3	Kritická teplota při tepelném zpracování oceli	[°C]
RO	Rychlořezná ocel	[-]
PKD	Polykrystalický diamant	[-]
VB	Opotřebení	[mm]
HV	Tvrdost podle Vickerse	[-]
HB	Tvrdost podle Brinella	[-]

Úvod

Strojírenství je označení technického oboru, který se neustále vyvíjí na základě aplikace již dosažených vědomostí a znalostí z okruhu fyziky a vlastností materiálů. Je nutné tyto dva okruhy sjednotit pod jeden název, neboť co se materiálů týče, ty se neustále vyvíjí a lze do budoucna předpokládat, že se budou dále zlepšovat fyzikální a mechanické vlastnosti, především díky zvyšující se čistotě materiálu, a tím zároveň požadavky na nástroje, které budou dané materiály opracovávat.

Doba jde dopředu velice rychle i co se týče samotného procesu obrábění. Dnes již máme díky pokroku k dispozici mnohem propracovanější a přesnější obráběcí stroje, lze použít přímo termínu obráběcí centra, neboť dnešní stroje nahradí mnoho starších strojů díky širokému výběru vykonávaných operací. Vyšší nároky jsou kladeny také právě na nástroje a materiály, ze kterých jsou vyrobeny, na geometrii, na životnost a na rychlejší vývoj.

Výrobou, testováním a vývojem vyměnitelných břitových destiček (dále jen VBD) ze slinutého karbidu (dále jen SK) se zabývá také firma Dormer Pramet Tools s.r.o..

Bakalářská práce se zabývá problematikou obrábění tvrdých materiálů VBD ze SK s ohledem na rozdílnou úpravu řezné hrany. Výsledkem je technicko-ekonomické zhodnocení na základě získaných hodnot opotřebení břitu a hodnot trvanlivostí jednotlivých VBD.

1. Obecná charakteristika daného problému

Zpracování bakalářské práce pro firmu Dormer Pramet Tools, s.r.o. má za cíl zjistit, která z úprav řezné hrany VBD nejvíce prodlouží životnost dané VBD při obrábění kalených materiálů a zároveň zhodnotit technicko-ekonomické hledisko. Na základě testování určit nejvhodnější úpravu řezné hrany pro obrábění kalených materiálů za daných řezných podmínek.

Konkrétně se jedná o obrábění materiálu dle ČSN 19 552.4 s tvrdostí 50-55 HRC a destičkami s označením RDHX 12T3MOT-V01 Grade 902 s šesti různými úpravami řezné hrany.

1.1. Dormer Pramet

Uskupení Dormer Pramet vzniklo v roce 2014 spojením firmy Dormer Tools, výrobce monolitních nástrojů, a firmy Pramet Tools, výrobce nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutého karbidu. Největší výhodou tohoto spojení je rozšíření sortimentu a tím oslovení širšího spektra zákazníků.¹

Komplexní nabídka sortimentu nabízí řadu nástrojů pro všeobecné strojírenství, jako jsou monolitní nástroje a nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami pro soustružení, frézování, vrtání a závitování.¹

2. Problematika obrábění tvrdých materiálů

Obráběním tvrdých materiálů uvažujeme technologii obrábění materiálu, jehož hodnota tvrdosti je přibližně od 45 do 70 HRC. Do této skupiny tvrdých materiálů lze zařadit kalené oceli, rychlořezné oceli, nástrojové oceli, ložiskové oceli, bílé litiny, také inconel, hastelloy, slitiny kobaltu pro použití ve zdravotnictví a další materiály klasifikovány jako tvrdé materiály.²

2.1. Rozdělení materiálů dle ISO 513 pro VBD ze slinutého karbidu

Dle ISO 513 se materiály dělí do šesti hlavních skupin, nesoucí označení písmeny P, M, K, N, S a H, kdy každá z nich v sobě nese specifické vlastnosti z pohledu obrobitelnosti.³

Tabulka 2.1. – Rozdělení obráběných materiálů do skupin podle ISO 513 a podskupin dle Dormer Pramet ⁴

P	P1	Oceli a ocelolitiny s velmi dobrou (zlepšenou) obrobiteľnosťou, automatové a nízkouhlíkové oceli	N	N1	Hliník a jeho mäkké slitiny Al (s nízkým obsahom Si) zejména tvárené a lité (nevytvrzené), tvrdost do 100 HB
	P2	Nelegované a nízkolegované ocelolitiny a oceli se středním obsahem uhlíku ($0,25 < C < 0,55$) s pevností do 900 MPa a tvrdostí v rozsahu 160 – 255 HB		N2	Tvrde slitiny Al, zejména lité vytvrzené (s vysokým obsahem Si)
	P3	Hůře obrobiteľné nelegované a nízkolegované ocelolitiny a oceli se středním obsahem uhlíku s pevností do 1000 MPa a tvrdostí do 300 HB		N3	Mäkké slitiny Cu, automatová mosaz a ostatní mäkké mosazi a bronzy
	P4	Středně až vysoce legované ocelolitiny a oceli (většinou s obsahem uhlíku 0,55 %)		N4	Hůře obrobiteľné a tvrdé slitiny Cu
M	M1	Feritické korozivzdorné oceli	S	S1	Technicky čistý Ti
	M2	Martenzitické korozivzdorné oceli		S2	Slitiny na bázi Fe
	M3	Austenitické korozivzdorné oceli		S3	Slitiny na bázi Ni
	M4	Feriticko-austenitické (duplexní) a superaustenitické korozivzdorné oceli		S4	Slitiny na bázi Co
K	K1	Šedé litiny	H	H1	Vysoce pevné a tvrdé nástrojové oceli, kalené a zušlechťené oceli o tvrdosti 40 – 50 HRC
	K2	Temperované litiny		H2	Tvrzená a bílá litina 350 – 600 HV
	K3	Tvárné litiny feritické a feriticko-perlitické		H3	Kalené a zušlechťené oceli o tvrdosti v rozmezí 50 – 55 HRC
	K4	Tvárné litiny perliticko-feritické, perliticko-sorbitické a perlitické		H4	Kalené a zušlechťené (převážně nástrojové) oceli o tvrdosti vyšší než 55 HRC

2.1.1. Tvrdé materiály

Tvrdé materiály, spadající pod skupinu H, nesoucí označení těžkoobrobiteľné, lze rozdělit na oceli a litiny. Nutno podotknout, že většina ocelí získává svoji vyšší tvrdost cestou tepelného zpracování, nejčastěji však kalením.

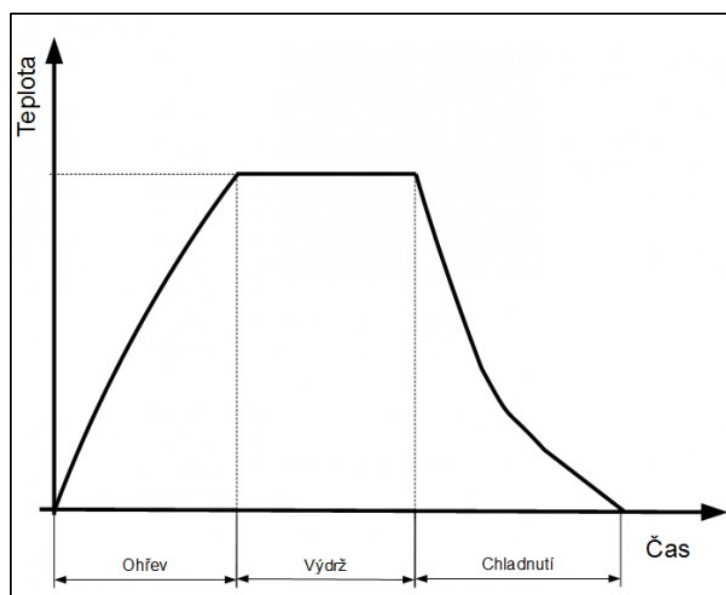
2.1.2. Oceli

2.1.2.1. Kalené oceli

Technologie kalení ocelí se provádí za účelem zlepšení mechanických a fyzikálních vlastností daného materiálu, jedná se především o zvýšení tvrdosti a s tím spojených výhod i nevýhod. Nutno podotknout, že kalení není jediný způsob tepelného zpracování, jak dosáhnout vyšší tvrdosti.

Nejdříve je potřeba stanovit podmínky, za kterých je materiál kalitelný. Kalitelné oceli musí obsahovat alespoň 0,3 % uhlíku, aby se vytvořil dostatek martenzitické nebo bainitické struktury, která se při obsahu uhlíku pod 0,2 % nevytvoří v dostatečném množství, tudíž se v tvrdosti výsledné struktury oproti nekalené oceli téměř neprojeví. ⁵

Proces kalení se skládá ze tří operací. Nejdříve je nutný ohřev daného materiálu na kalicí teplotu, která je přibližně 30 až 50°C nad teplotou A_{c3} , následuje výdrž na této teplotě a na závěr se materiál rychle ochladí ve vodě, v oleji, případně na vzduchu. Po procesu kalení také často následuje popouštění kvůli vysokému vnitřnímu pnutí martenzitu. Při popouštění se ocel zahřívá pod teplotu A_{c1} s výdrží na této teplotě po určitou dobu. ⁵



Obrázek 2.1.2.1. – Průběh tepelného zpracování ¹⁵

Důležitým pojmem je v tomto ohledu také kalitelnost, se kterou úzce souvisí pojmy tloušťka zakalení, maximální povrchová tvrdost a sklon ke vzniku kalících rýh a trhlin. ⁵

2.1.2.2. Nástrojové oceli

U nástrojových ocelí je důraz kladen především na vysokou tvrdost a pevnost, ale zároveň také na dostatečně vysokou houževnatost. Nástroje používané při vyšších teplotách musejí být schopny si tyto mechanické vlastnosti zachovat. Při širokém rozsahu pracovních teplot je zároveň vyžadováno, aby si nástroje zachovaly vysokou odolnost vůči abrazivnímu a adheznímu opotřebení. Zvýšené požadavky jsou také na čistotu nástrojových ocelí, aby se co nejvíce zamezilo praskání oceli při kalení a také vyštipování břitů za provozu. Ocel používaná také pro nástroje větších průměrů nebo složitých tvarů, musí mít zaručenou dostatečně velkou prokalitelnost. Rozdělení nástrojových ocelí se nejčastěji realizuje na základě chemického složení na:

- nelegované oceli
- legované oceli (nízkolegované, střednělegované)
- vysokolegované oceli ⁶

Tabulka 2.1.2.2. – Rozdělení nástrojových ocelí podle chemického složení ⁶

Oceli		Nelegované	Legované	Vysokolegované (rychlomězné)
Označování		19 0xx ÷ 19 2xx	19 3xx ÷ 19 7xx	19 8xx
Obsah uhlíku [%]		0,5 ÷ 1,5	0,8 ÷ 1,2	0,7 ÷ 1,3
Obsah legujících prvků [%]	Celkem	< 1,0	10 ÷ 15	> 30
	Jednotlivé prvky	desetiny	jednotky	až desítky
Legující prvky		Mn, Si, Cr	Cr, W, Mo, V, Mn, Si, Ni	W, Mo, Cr, V, Co
Kaličí prostředí		voda	olej	vzduch
Tvrdost po kalení [HRC]		62 ÷ 64	66	64 ÷ 68
Užití		ruční nástroje a nářadí (nůžky, sekáče, pilníky, pilky na kov)	strojní nástroje pro nižší hodnoty v_c (např. protahovací trny)	strojní nástroje (nože, frézy, vrtáky, výstružníky, atd.)

2.1.3. Litiny

Litiny se rozdělují na základě svých mechanických vlastností, a hlavně podle způsobu, kterým se vylučuje grafit ze železa.

2.1.3.1. Bílá litina

Bílé litiny získaly svůj název díky bílému lomu. Obsahují železo, uhlík a další prvky tuhnutí metastabilně. Množství uhlíku v bílé litině přesahuje hodnotu 2,1 %, ale obvykle ho bývá 2,4 až 4,5 %. Tyto litiny disponují vysokou tvrdostí (350 až 500 HB), vysokou

odolností vůči abrazivnímu opotřebení, ale zároveň jsou také velice křehké a špatně obrobitelné. Právě tyto vlastnosti značně ovlivňují jejich přímé využití ve strojírenství. Ke zvýšení odolnosti vůči opotřebení se také přidává chrom nebo se kombinuje chrom s niklem.⁷

Nejčastěji je využívána podeutektická bílá litina, a to zejména k výrobě mlecích desek, koulí drtičů, lopatek metacích mechanických tryskačů apod.⁷

2.1.3.2. Tvrzená litina

Tvrzená litina nepatří mezi normalizované druhy litin. U tvrzené litiny pro odlitky, se volí takové chemické složení, aby se vlivem ochlazování v povrchové vrstvě krystalovala litina podle soustavy metastabilní, tudíž bíle. Zatímco na povrchu se tvoří bílá litina, tak jádro, které chladne pomaleji podle soustavy stabilní, vytváří litinu šedou. V přechodové oblasti těchto dvou litin se pak tvoří tzv. maková litina, ve které je obsažen volný cementit s grafitem. Tvrdost povrchové vrstvy těchto odlitků pak dosahuje hodnot kolem 50 až 55 HRC. Díky této tvrdosti velice dobře odolávají opotřebení a díky měkčímu jádru jsou pak podstatně méně křehké.⁷

Hloubka tvrzené vrstvy je ovlivněna rychlostí odvodu tepla a chemickým složením litiny. Především jde o přísady s obsahem Mn, W, Mo, Cr, které zvětšují hloubku, a opačný efekt pak mají přísady s obsahem C, Si, Ni.⁷

2.2. Obrábění ocelí o vyšší tvrdosti

Při obrábění materiálů o vyšší tvrdosti je potřeba vzít v úvahu spoustu omezujících podmínek, aby se dosáhlo produktivního obrábění. Nejčastěji se volí technologie vysokorychlostního obrábění, při níž se dosahuje vysoké teploty, která způsobuje měknutí obráběného materiálu a tím snížení silového namáhání nástroje i stroje.⁸

K obrábění tvrdších materiálů se používá CBN, neboť splňuje požadavky ve smyslu dobré odolnosti proti plastické deformaci za tepla, chemické stability za vysokých teplot, mechanické pevnosti a odolnosti vůči abrazivnímu opotřebení. V případě požadavků na střední jakost povrchu obrobené plochy a zároveň vysoké tvrdosti pro použití slinutého karbidu, lze použít také smíšenou nebo whiskery vyztuženou řeznou keramiku. Použití

nástroje ze slinutého karbidu převládá při operaci frézování a vrtání u materiálů, kdy hodnota tvrdosti nepřesáhne přibližně 60 HRC.³

2.2.1. Frézování

Frézování patří mezi velice rozšířené metody obrábění. Hlavní výhodou této metody je velká výkonnost při současném zachování dobré kvality obrábění. Metody frézování se užívá především při obrábění rovinných, rotačních a tvarových ploch a pro obrábění ozubení a drážek různých profilů.²²

Rotující nástroj, označován termínem fréza, odebírá třísku břity. Hlavním řezným pohybem je rotace a je vykonáván nástrojem. Vedlejším řezným pohybem je většinou přímočarý posuv, vykonáván obrobkem. Víceosá frézovací centra umožňují již posuvy měnit plynule současně s jejich realizací ve více směrech. U frézování se vždy jedná o přerušovaný řez.²²

Frézování lze podle polohy osy nástroje, vzhledem k obráběné ploše, rozdělit na frézování válcové, kdy je plocha rovnoběžná s osou nástroje, a čelní, kdy je obráběná plocha kolmá na osu nástroje.²²

2.2.2. Vysokorychlostní obrábění – High speed cutting (HSC)

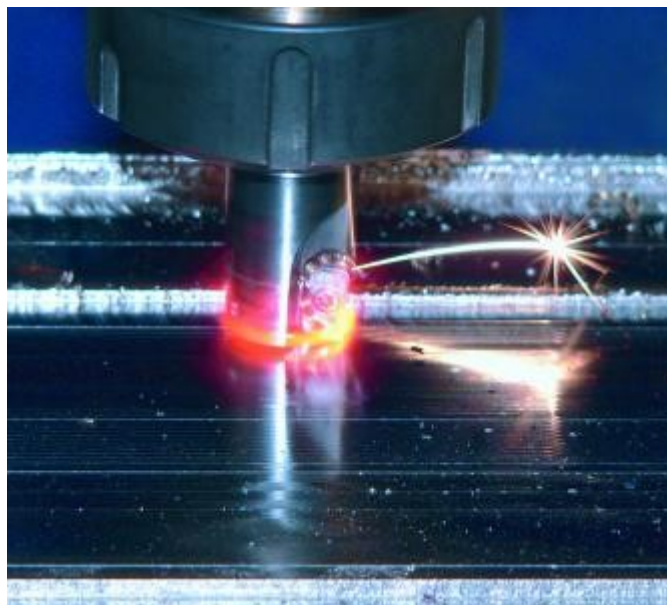
Hlavní předností technologie HSC je díky odvodu téměř veškerého vyprodukovaného tepla třískou, nízká teplota obrobku a řezného nástroje, která zároveň v mnoha případech zaručuje také jeho delší dobu životnosti. Při HSC technologii je totiž, jinými slovy, posuv vyšší než rychlost šíření tepla v materiálu. HSC zaručuje také pokles radiální síly, která působí na nástroj a vřeteno, díky mělkým řezům.⁸

Nutným předpokladem je, především při obrábění kalených ocelí, záruka dokonalého odvodu třísek z řezné dráhy, aby se zamezilo jejich znovu-řezání a tím byl zaručen spolehlivý výrobní proces.⁸

Při technologii HSC, se zároveň doporučuje nepoužívat chlazení chladícími kapalinami kvůli vysokým teplotním rozdílům. V první řadě bývá v místě řezu obvykle velice vysoká teplota, takže dochází k téměř okamžitému odpaření chladící kapaliny a chlazení tedy ztrácí na svém významu a v druhé řadě by mohlo dojít ke vzniku mikrotrhlin ve SK a následně vést k vylovení břitu.⁸

HSC s sebou nese také pár nevýhod a těmi jsou především vysoké nároky na stroje i nástroje, na odborné znalosti obsluhy stroje, na bezpečnostní opatření a v neposlední řadě také na celkově dobrý stav stroje a jeho pravidelné kontroly a servis. ⁸

HSC je vhodné pro obrábění malých součástí a veškeré operace jsou prováděny úsporně a produktivně, za podmínky, kdy celkový úběr materiálu je relativně malý. Používá se ale také při výrobě zápustek a forem pro odlévání, kde se touto technologií dosahuje vysokých přesností a nízké drsnosti povrchu. ⁸



Obrázek 2.2.2.– Ukázka HSC obrábění ⁹

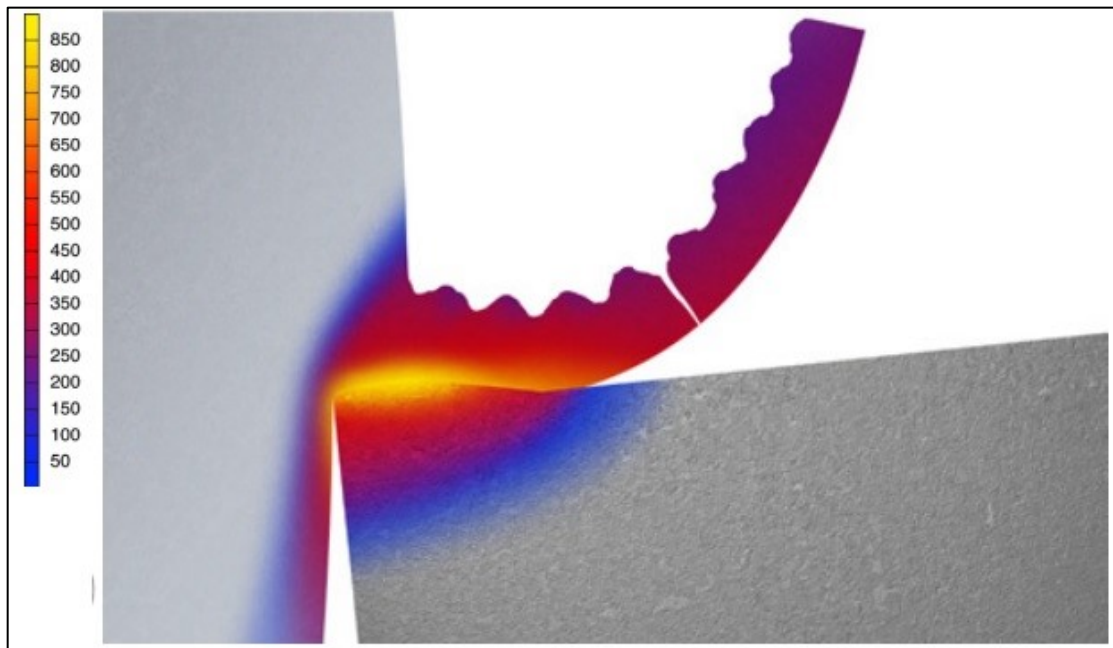
2.2.3. Suché obrábění

Suché obrábění je aplikováno nejčastěji právě v kombinaci s HSC. Jedná se o obrábění v přirozeném prostředí, které je upraveno pouze upraveným nebo neupraveným vzduchem. ⁹

Suché obrábění s sebou nese spoustu výhod v podobě čistšího a zdravějšího pracovního prostředí a snížení výrobních nákladů. Také více a více výrobců včetně koncových uživatelů řeší obrábění těžkoobrobitelných materiálů právě cestou suchého obrábění. ⁹

2.3. Silové a tepelné namáhání břitu při obrábění materiálů ze skupiny H

Při obrábění materiálů ze skupiny H je nejčastější operací dokončování. Tato operace se vyznačuje především velice dobrou kontrolou utváření třísky. V tomto případě jsou řezné síly a požadavky na výkon stroje poměrně vysoké. Měrná řezná síla se pohybuje v rozmezí 2550 – 4870 N/mm².³



Obrázek 2.3. – Grafické znázornění teplot při obrábění materiálů ze skupiny H VBD ze SK³

Silové zatížení břitů nástroje se při obrábění neustále mění. Díky opakovanému vstupu a následnému výstupu se zatížení rychle mění z maximálního na nulové. Právě zmírnění proměnlivého zatížení je hlavním předpokladem pro zvýšení životnosti nástroje, produktivity a spolehlivosti procesu.²³

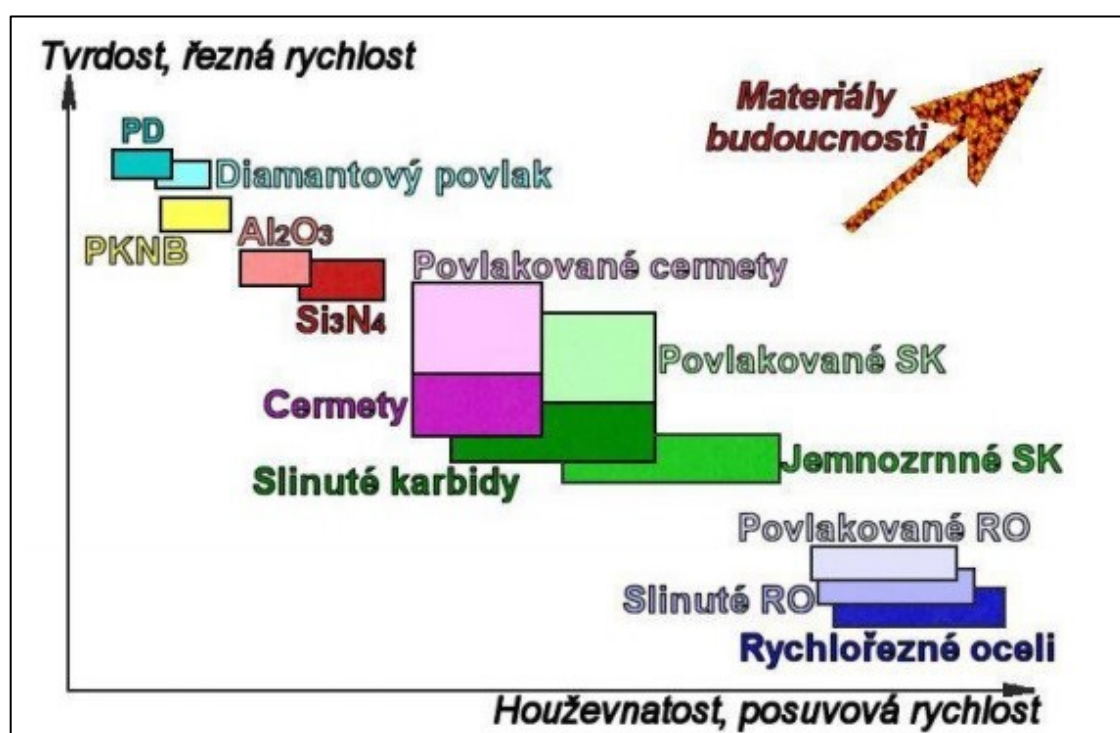
3. Nástrojové materiály

Nástrojové materiály jsou v oboru strojírenství, jako skupina, velice důležité a neustále dochází k jejich vývoji pro dosažení požadavků na opracovávání materiálů, které se taktéž vyvíjí. Jedná se o nekončící koloběh, neboť se prozatím nenašel dokonalý materiál, který by splňoval podmínky jak pro obrábění, tak pro použití v různých prostředích za různých podmínek.

Požadavky na nástrojové materiály se často rozcházejí, a proto je velice těžké najít ideální materiál, který by zvládl vše. Jedním z hlavních požadavků je vysoká tvrdost

a pevnost při pracovních teplotách současně se zachováním si vysoké houževnatosti. Dalším neméně důležitým požadavkem na nástrojový materiál je chemická stálost, odolnost vůči teplotnímu rázu, jeho snadná zpracovatelnost a zároveň dostupnost s přiměřenou cenou.¹⁰

Nástrojové materiály lze rozdělit do několika skupin. Momentálně nejpoužívanějším nástrojovým materiálem je slinutý karbid díky svým širokým možnostem použití a variabilitě. Druhým nejpoužívanějším a zároveň nejstarším nástrojovým materiálem je nástrojová ocel, přesněji se jedná o rychlořeznou ocel. Nelze ovšem opominout také další nástrojové materiály, které jsou sice méně používány, ale zároveň v podstatě nenahraditelné.¹⁰



Obrázek 3. – Vlastnosti a oblasti použití nástrojových materiálů⁶

3.1. Rozdělení nástrojových materiálů

3.1.1. Nástrojová ocel

Nástrojové oceli jako skupinu, lze dále rozdělit do dalších třech podskupin. Dělí se dále na nelegované, legované a vysokolegované neboli rychlořezné. Nelegované nástrojové oceli se používají především k výrobě ručních nástrojů a nářadí. Legované a vysokolegované nástrojové oceli se používají k výrobě strojních nástrojů.⁶

Ve vztahu k technologii obrábění je třeba vyzdvihnout především ocel rychlořeznou (RO). Ta se právě díky svým nenahraditelným vlastnostem, i přes své stáří, neustále drží jako jeden z nejpoužívanějších materiálů. Největší výhodou je její vysoká houževnatost, dostupnost, zpracovatelnost všemi běžnými technologiemi a také její cena. Nevýhodou je pak menší tvrdost a nižší odolnost vůči opotřebení, které pak zároveň klesají s teplotou nad 500 °C.¹⁰



Obrázek 3.1.1. – Příklady nástrojů z rychlořezné oceli¹⁷

3.1.1.1. Chemické složení a vlastnosti RO

Rychlořezné oceli patří do skupiny vysoce legovaných nástrojových ocelí. Velké množství legujících prvků zajišťuje jejich vysokou tvrdost (60 až 68 HRC), vysokou pevnost v ohybu (2700 až 4500 MPa) a zvýšení teploty použitelnosti do oblasti mezi 500 až 600 °C. Tyto vlastnosti jsou ovlivněny obsahem legujících prvků a jejich vhodnou kombinací.¹⁰

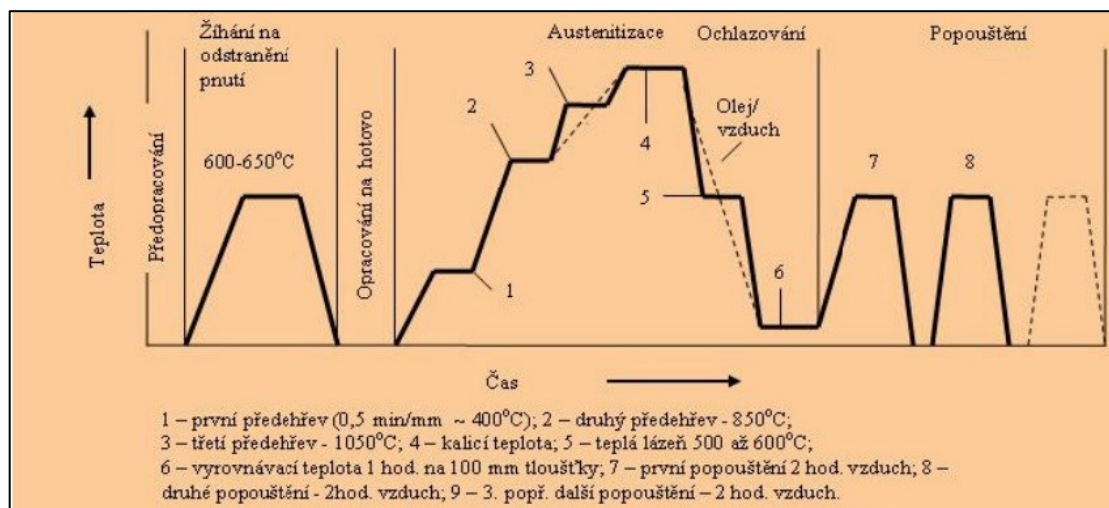
Wolfram je v rychlořezné oceli (RO) obsažen v množství 6 až 18 % a jako základní legující prvek vytváří tvrdé karbidy. Zajišťuje tedy zejména odolnost vůči opotřebení. Dalším legujícím prvkem obsaženým v RO v množství 0,7 až 10 %, je molybden, jeho vlastnosti jsou podobné jako u wolframu, ale jeho intenzita je o něco větší, proto stačí nižší obsah tohoto prvku. Navíc molybden zajišťuje rovnoměrné rozložení jemnějších karbidů molybdenu a tím i vyšší houževnatost. Tyto oceli jsou však o něco náchylnější

na přesné dodržování podmínek tepelného zpracování. Vanad jako legující prvek o obsahu 1,3 až 4,3 %, vytváří nejtvrďší karbidy a hlavním důvodem jeho přidávání do oceli je zvýšení odolnosti vůči opotřebení. Ve výsledku pak opět dochází k poklesu houževnatosti. Kobalt o obsahu 5 až 12 % zvyšuje odolnost proti poklesu tvrdosti za vyšších teplot a chrom o obsahu kolem 4 % zajišťuje vhodnou kalitelnost a prokalitelnost oceli.¹⁰

3.1.1.2. Výroba a zpracování RO

Nejčastěji se RO vyrábí odléváním, při tuhnutí má však tendenci segregovat a výsledkem je řádkovitá struktura, která je typická pro tvářenou RO. K výrobě se využívá také technologie práškové metalurgie, kdy je prášek získán rozprašováním tekuté oceli do plynného prostředí nebo do vody. Dále dochází k jeho lisování za vysokého tlaku i teploty do polotovarů nebo se zpracovává lisováním za studena a následným spékáním do podoby hotového nástroje jako třeba VBD.¹⁰

Tepelné zpracování RO se ve srovnání s tepelným zpracováním jiných ocelí liší. Nejprve dochází k několikastupňovému ohřevu na velmi vysokou kalící teplotu (1000 až 1270 °C), následuje přerušované kalení, a nakonec dochází k několikanásobnému popouštění za vysokých teplot (520 až 570 °C).¹⁰



Obrázek 3.1.1.2. – Postup tepelného zpracování u RO¹⁰

3.1.2. Slinuté karbidy

Slinuté karbidy jsou označovány jako tuhé roztoky karbidů kovů v pojivu. Skládají se především z karbidu wolframu nebo karbidu titanu a pojiva, které je tvořeno většinou

kobaltem. Hlavní výhodou SK je vysoká tvrdost a zároveň velmi dobrá odolnost proti opotřebení i do teplot kolem 900 °C. SK má ovšem ve srovnání s rychlořeznými ocelmi nižší houževnatost a také malou tepelnou vodivost.¹⁰

V současnosti jsou SK jedním z nejpoužívanějších řezných materiálů a dodávají se především ve formě VBD, které jsou určeny pro upnutí do nástroje nebo napájení, výjimkou ovšem nejsou ani monolitní nástroje.¹⁰



Obrázek 3.1.2. – Variabilita nástrojů ze slinutého karbidu¹⁸

3.1.2.1. Chemické složení a vlastnosti SK

Původní SK vyvinuté firmou Krupp v roce 1926 byly pouze jednoduché dvousložkové karbidy se složením karbid wolframu a pojivo. Tyto původní SK byly dobré pro obrábění litin a barevných kovů, avšak pro obrábění ocelí byly nevhodné z důvodu difuzního opotřebení a následné hodně rychlé tvorbě žlábků na čelní ploše. Postupně se různými přísadami karbidů trvanlivost zlepšila. Houževnatost SK závisí hlavně na obsahu kobaltu.¹⁰

Základní složkou SK je karbid wolframu (WC), díky tomu získává SK odolnost proti abrazivnímu opotřebení a pevný břit nástroje. Karbid titanu (TiC) zajišťuje odolnost vůči vymílání čela. Karbid tantalu a niobu (Ta(Nb)C) zajišťuje při spojení s WC, snížení opotřebení za vysokých teplot a celkově zvyšuje odolnost vůči tepelným šokům. Poslední a zároveň velice důležitou složkou je kobalt, který zprostředkovává spojení všech těchto

složek. Nižší obsah tohoto pojiva znamená tvrdší, ale zároveň méně houževnatý SK a naopak.¹⁰

3.1.2.2. Výroba SK

Proces výroby SK je velice složitý a obsahuje také spoustu speciálních technologií.

Nejprve je potřeba vyrobit a připravit jemný prášek. Ten se získává redukcí nerostných surovin. Jeho hlavní složkou je wolfram a pomocí vysokoteplotního nauhličování vzniká karbid wolframu. Na stejném principu funguje získávání dalších karbidů a následně se velice přesně mísí všechny složky dohromady současně s kobaltem. Následuje časově náročné mletí za mokra v kulových mlýnech a sušení.¹⁰

Dalším krokem v procesu je lisování a úprava polotovaru, součástí je zpracování do požadovaného tvaru za vysokotlakého lisování do forem.¹⁰

Následuje proces slinování ve slinovací peci v ochranné atmosféře nebo ve vakuu při teplotě okolo 1400 °C, aby se zaručilo dokonalé spojení roztaveného pojiva s karbidy.¹⁰

Na závěr se výrobky zpřesní broušením, otryskáváním nebo kartáčováním.

3.1.3. Řezná keramika

Řezná keramika má velice úzký rozsah použití. Používá se především pro obrábění šedé a tvárné litiny a kalené a konstrukční oceli. Nutným předpokladem pro správné využití řezné keramiky, je nezbytné dokonale tuhé upnutí obrobku a celková tuhost obráběcího stroje, aby se zamezilo vibracím, na které je řezná keramika díky své křehkosti zvlášť náchylná.¹⁰



Obrázek 3.1.3.– Nástroje z řezné keramiky¹⁹

3.1.3.1. Rozdělení řezné keramiky

Čistá oxidická keramika, bílé nebo šedé barvy, je vyrobena výhradně oxidem hlinitým. Hlavní předností je její vysoká tvrdost a velice dobrá odolnost vůči opotřebení za vysokých teplot (až 1200 °C).¹⁰

Směsná oxidová keramika, černé barvy, se vyrábí přidáním 20 až 40 % karbidu (TiC) nebo nitridu titanu (TiN) do čisté keramiky. Tímto se ještě zvýší odolnost vůči teplotním šokům a stává se odolnější při přerušovaném řezu.¹⁰

Vyztužená keramika, zelené barvy, je čistá oxidická keramika, zesílená přidáním přibližně 30 % whiskerů. Whiskery jsou vyrobeny z karbidu křemíku ve formě velice tenkých vláken (průměr okolo 1 μm). Zvyšuje se houževnatost, pevnost v tahu a tvrdost za tepla.¹⁰

3.1.4. Syntetický diamant

Syntetický diamant je uměle vyrobený materiál, jehož mechanické vlastnosti se blíží přírodnímu diamantu. Disponuje výbornou odolností vůči abrazivnímu opotřebení a má dobrou tepelnou vodivost. Omezením je především tepelná odolnost pouze do asi 700 °C, křehkost a afinita k železným kovům. Nejčastější je používání polykrystalického diamantu (PKD).¹⁰

3.1.4.1. Výroba PKD

PKD se vyrábí obdobně jako SK, slinováním. Slinují se diamantová zrna při vysokých teplotách s kobaltovým pojivem. Výsledná struktura je tvořena spojením přímo mezi sebou nebo v pojivu.¹⁰

3.1.5. Nitrid boru

Kubický nitrid boru (dále jen CBN), je materiál s extrémní tvrdostí a pevností, která se nemění ani za vysokých teplot do 2000 °C. Zároveň si zachovává velice dobrou odolnost proti opotřebení. Houževnatost CBN je srovnatelná s houževnatostí keramických materiálů. Hlavní předností CBN před PKD je jeho vyšší chemická stálost, takže umožňuje obrábění ocelí. Všechny tyto výhody se ovšem projevují na ceně nástroje.¹⁰

CBN se s keramickým nebo kovovým pojivem lisuje do tvaru VBD. Častěji se ovšem využívá pouze napájení CBN na špičku klasické VBD ze SK z důvodů ušetření vzácného materiálu za současného zachování všech výhod CBN.¹⁰

Nejčastěji se využívá pro operaci dokončování velice tvrdých materiálů nebo k broušení.¹⁰

3.2. Úpravy řezné hrany řezného nástroje

Úpravy řezné hrany u řezných nástrojů patří do oboru mikrogeometrie nástroje. Mikrogeometrie nástroje je pojem poněkud novější, neboť dříve nebyly stroje pro výrobu nástrojů ani měřicí zařízení tak přesné, jako jsou nyní.

Úpravy mikrogeometrie řezného nástroje zlepšují v pozitivním slova smyslu trvanlivosti a tím i životnosti řezných nástrojů, drsnost obrobeného povrchu a také celkově mohou snížit zátěž obráběcího stroje a vibrace při procesu obrábění.¹¹

3.2.1. Kartáčování

Kartáčování patří do metod mechanických úprav řezné hrany. Používají se zde kartáče s umělými vlákny s brusivem zabudovaným přímo ve vláknech. Nosičem tohoto brusiva je brusná diamantová pasta a díky krouživému pohybu kartáče dochází

k odbroušení a zarovnání povrchu nástroje. Drsnost výsledného povrchu nástroje je ovlivněna jak tvrdostí kartáčových vláken, tak velikostí zrn obsažených v brusné pastě.¹²



Obrázek 3.2.1.– Příklad kartáčování VBD¹²

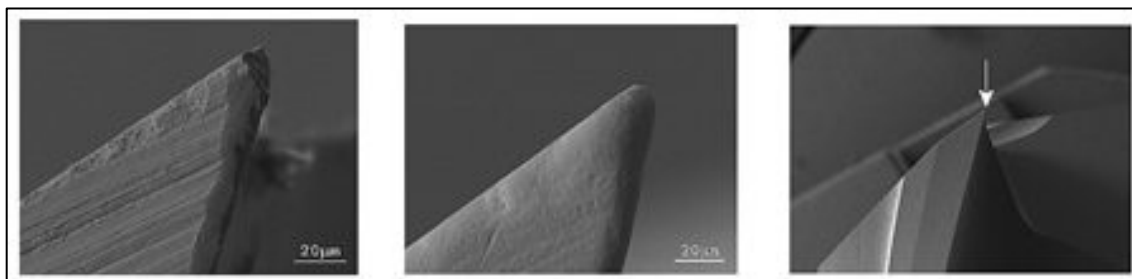
3.2.2. Pískování

Metoda pískování spočívá v rychlém unášení velmi jemného abraziva inertním plynem a vytvořením soustředěného paprsku abraziva. Tato metoda se používá zejména k zaoblování řezné hrany, ale také k odstraňování drobných nečistot z povrchu nástroje. Používají se většinou zrna oxidu hlinitého (Al_2O_3) nebo karbidu křemíku (SiC) o velikosti přibližně od 10 do 50 μm a díky malé trysce dosahují rychlosti přibližně od 150 do 300 m/s. Pískováním se dosahuje lepší kvality povrchu než u metody kartáčování.¹³

Nosným médiem abraziva v tomto případě nemusí být pouze vzduch, ale může být použita také voda. V případě použití vody se pak jedná o pískování mokré. Při mokrému pískování se dosahuje lepších parametrů i čistoty povrchu, neboť díky směsi vody s abrazivem dochází k dokonalému vyčištění povrchu řezného nástroje a nehrozí zvýšení drsnosti povrchu.¹³

3.2.3. Vlečné omílání

Vlečné omílání patří mezi nekonvenční metody úpravy řezné hrany. Tato metoda funguje na principu vlečení nástroje procesním materiálem, kdy vlečený nástroj napodobuje planetový pohyb a tím je zaručen rovnoměrný kontakt celého nástroje s médiem. Metoda sice připomíná klasické broušení, ale díky volnému pohybu abrazivních zrn, dochází k mnohonásobně lepším výsledkům, viz Obrázek 3.2.3. ¹⁴



Obrázek 3.2.3. – Rozdíl v povrchu upraveného broušením a vlečným omíláním ¹⁴

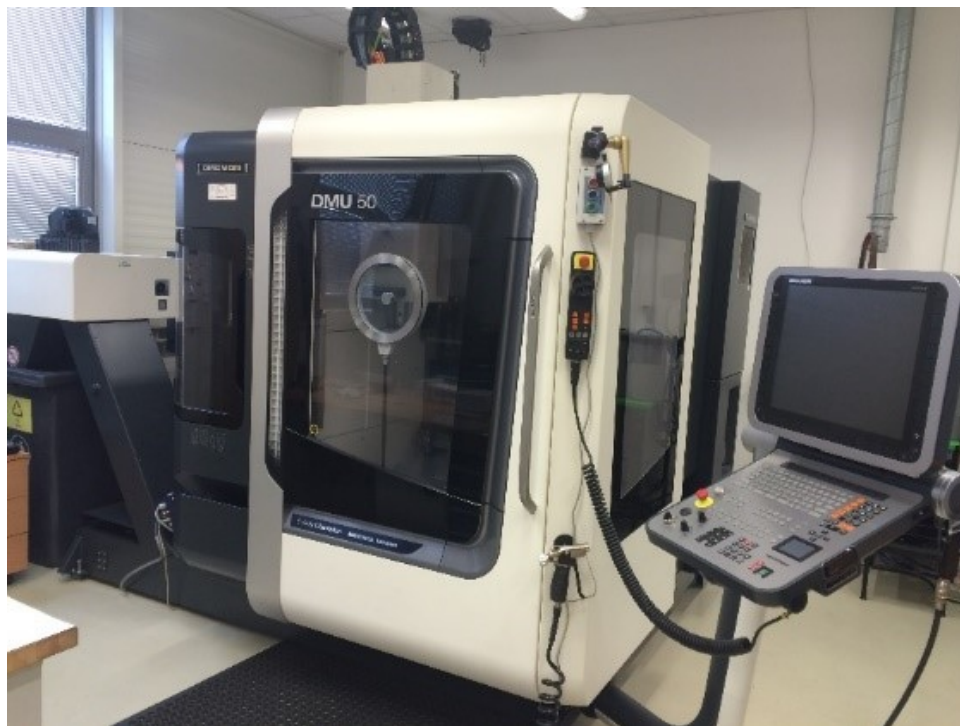
Hlavními parametry ovlivňující výsledek metody je doba procesu, velikost zrn abrazivního média, rychlost a hloubka ponoření nástrojů do média.

4. Diskuze experimentálních prací

Cílem experimentální zkoušky bylo stanovení trvanlivosti břitu u testovaných VBD s označením RDHX 12T3MOT-V01 s šesti různými úpravami řezné hrany při frézování oceli dle ČSN 19 552.4. Zkouška byla provedena čelním frézováním daného materiálu frézou s označením 35E4R042M16-SRD12 v upínači s označením HSK63A na frézovacím centru DMG MORI DMU 50. Při všech testech bylo použito osazení dvěma destičkami. Řezné podmínky byly předem stanoveny, avšak bylo dovoleno poupravit řeznou rychlost, kdy výsledná řezná rychlost byla rovna 70 m/min. Kritérium pro určení trvanlivostí jednotlivých VBD bylo opotřebení hřbetu 0,7 mm.

4.1. Obráběcí stroj

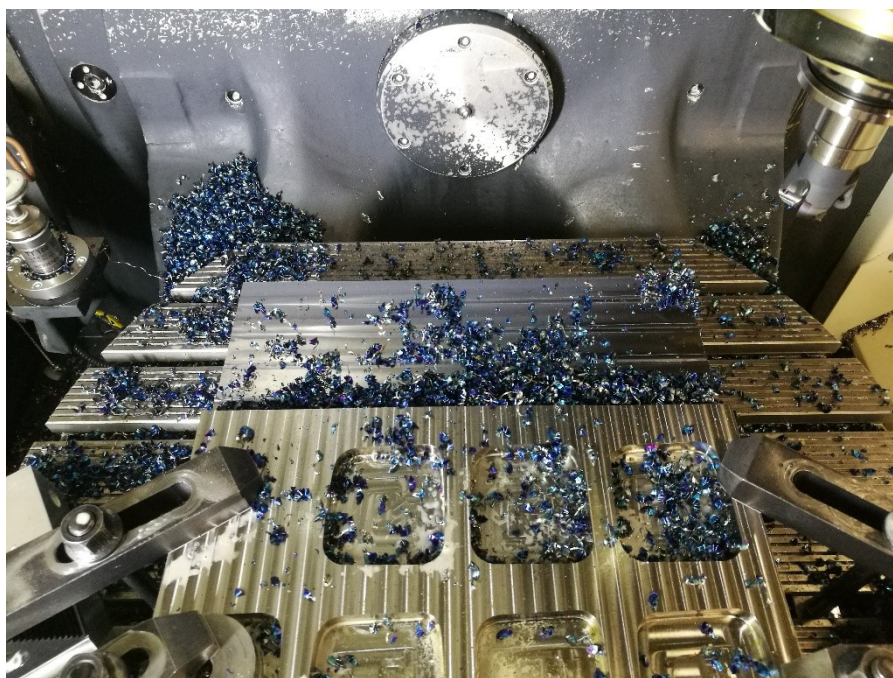
Testování kruhových VBD s různými úpravami řezné hrany bylo provedeno na stroji s označením DMG MORI DMU 50. Jedná se o pětiosé frézovací CNC centrum.



Obrázek 4.1.a – Frézovací centrum DMG MORI DMU 50

Tabulka 4.1.– Technické parametry frézovacího centra DMG MORI DMU 50 ²⁰

Pracovní rozsah v ose X	500 mm
Pracovní rozsah v ose Y	450 mm
Pracovní rozsah v ose Z	400 mm
Rozsah otáček	20 – 18000 ot/min
Maximální výkon	21 kW
Maximální kroutící moment	130 Nm
Rychloposuv ve všech směrech	30 m/min
Počet nástrojů	16



Obrázek 4.1.b – Vnitřek frézovacího centra

4.2. Charakteristika materiálu dle ČSN 19 552

Noremní označení podle ČSN je 19 552, podle EN ISO 4957 je označení X37CrMoV5-1 a podle En 10027-2:1992 se jedná o označení 1.2243.²¹

V případě oceli 19 552 se jedná o středně legovanou chrom-molybden-vanadovou ocel pro práci za tepla. Tato ocel je velice dobře kalitelná v oleji a na vzduchu a je vhodná pro nástroje, které jsou chlazeny vodou. Obvykle se používá pro výrobu nástrojů pro práci za tepla, jako jsou například nástroje pro tlakové lití, vložky zápustek, nástroje pro výrobu matic a šroubů za tepla, lisovací trny nebo nože pro stříhání za tepla.²¹

Ocel 19 552 disponuje vysokou pevností za zvýšených teplot, odolností proti tvorbě trhlin z tepelné únavy, dobrou tepelnou vodivostí a nízkým součinitelem tepelné roztažnosti. Dále pak dostatečnou prokalitelností, stálostí rozměrů po kalení a popouštění, dobrou obrobitelností a lešitelností.²¹

Kalením této oceli při teplotě 1000-1040 °C lze dosáhnout tvrdosti 52-55 HRC.²¹

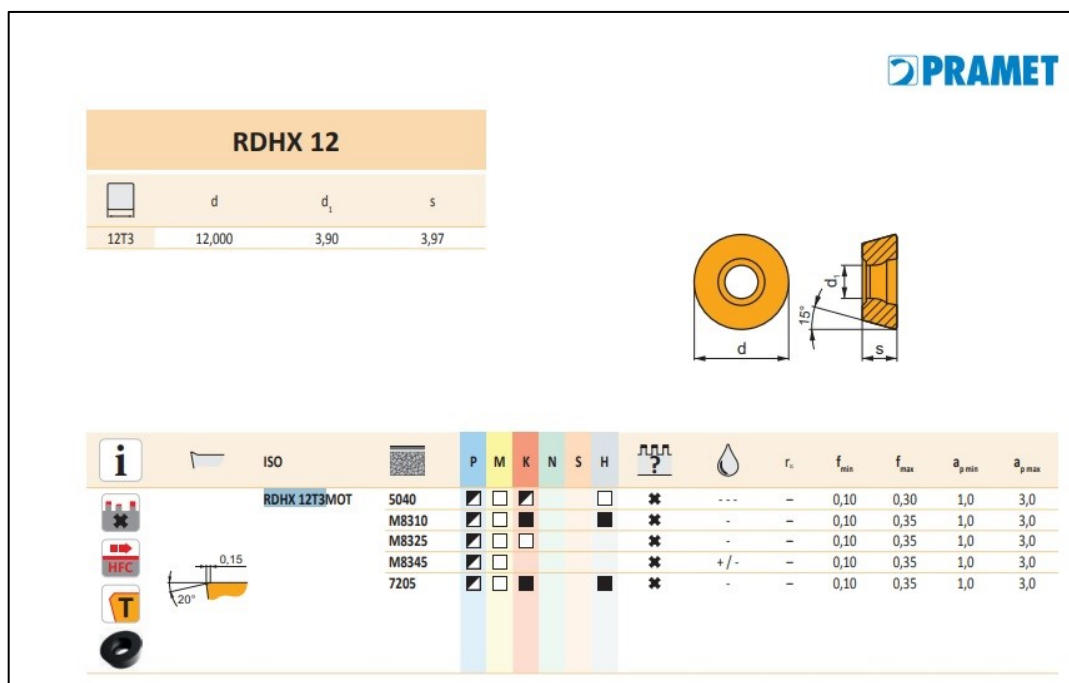
Právě tato nástrojová ocel, tepelně zpracována kalením na tvrdost okolo 55 HRC, byla při tomto experimentu obráběna.

Tabulka 4.2. – Chemické složení oceli 19 552 v jednotkách hmotnostních % podle DIN 17 350 ²¹

C	Si	Mn	Cr	Mo	V
0,33-0,41	0,80-1,20	0,25-0,50	4,80-5,50	1,10-1,50	0,30-0,50

4.3. Nástroj

Pro frézování byly použity VBD ze slinutého karbidu s označením RDHX 12T3MOT-V01 s šesti různými úpravami řezné hrany.

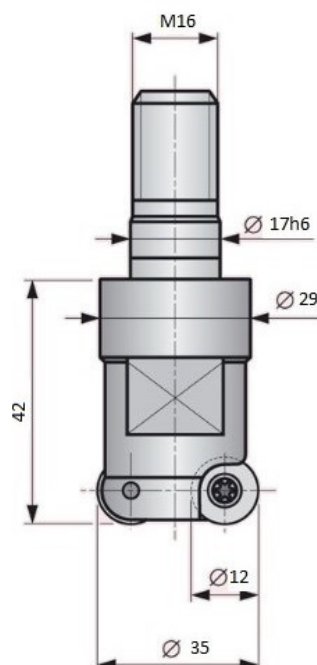


Obrázek 4.3.a – Parametry použitých destiček ⁴

Jednalo se o kruhové destičky o průměru 12 mm a bylo použito dvoubřitého osazení frézy 35E4R042M16-SRD12. Každá z destiček měla jinou úpravu řezné hrany. Jednalo se jmenovitě o úpravu technologií broušení, následně je po broušení přidána úprava technologií vlečného omílání, dále je využita úprava technologií suchého a mokrého pískování, s následnou úpravou technologií vlečného omílání.



Obrázek 4.3.b – Testované VBD s označením RDHX 12T3MOT-V01



Obrázek 4.3.c – Grafické schéma frézy (rozměry v mm)

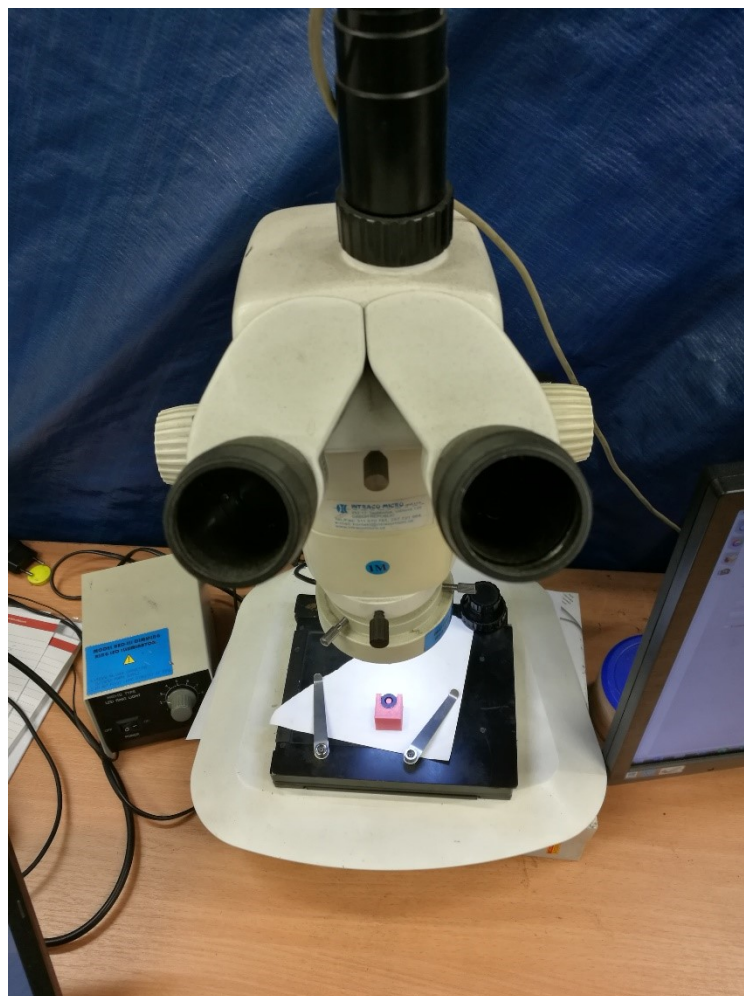


Obrázek 4.3.d – Frézovací hlavička s dvoubřítým osazením v upínáku

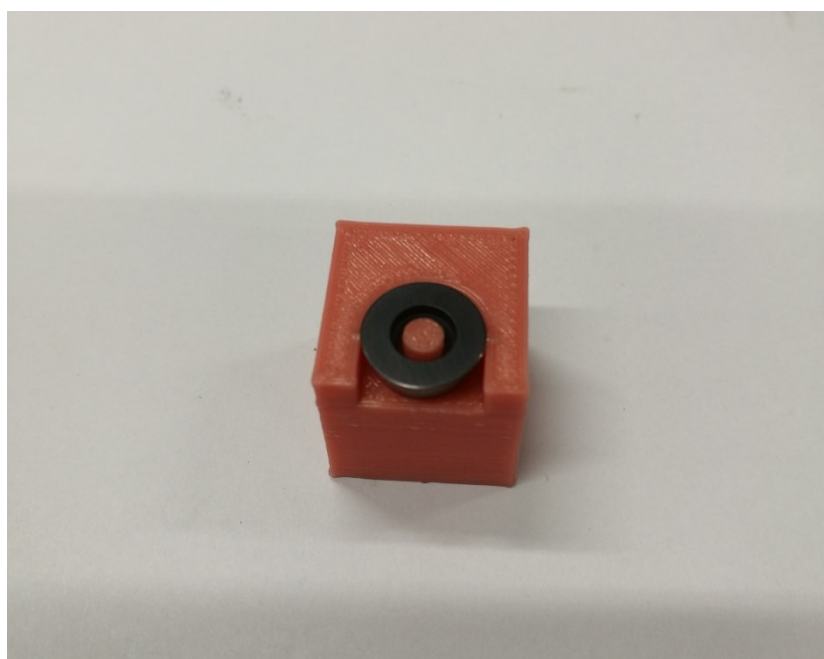
4.4. Metodika měření

Destičky byly měřeny v intervalech 160 sekund, což bylo pro zjednodušení a zároveň zpřesnění výsledků, ekvivalentem čtyřech přejezdů materiálem. Měření se realizovalo pomocí mikroskopu s digitální kamerou a počítačovým softwarem Miotic. Pro měření byl vyroben přípravek na 3D tiskárně, do kterého se pro měření opotřebení VBD vložila. Hlavní měřenou veličinou bylo opotřebení hřbetu nástroje v závislosti na čase. Měření opotřebení se realizovalo pouze na jedné VBD po celou dobu procesu testování daného vzorku.

Před začátkem samotného procesu testování, bylo nutné přesně označit polohu VBD pro zachování stejné polohy v nástroji po celou dobu testování. Při každém vyjmutí a měření by se mohla při opětovném upnutí pootočit, a to by způsobilo zkreslení výsledků. Dále byla provedena kalibrace mikroskopu pro přesné měření opotřebení.



Obrázek 4.4.a – Mikroskop s digitální kamerou

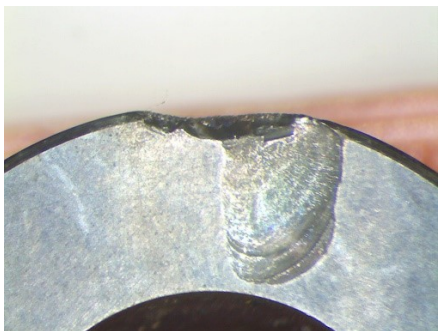
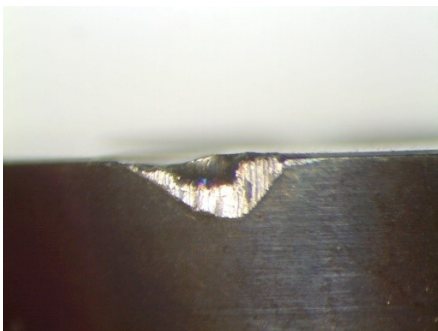
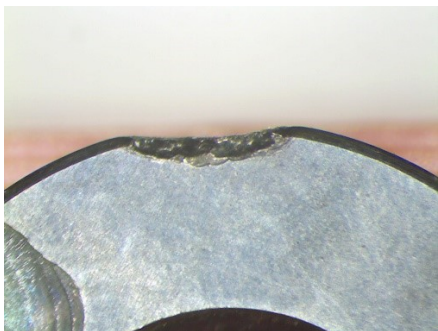
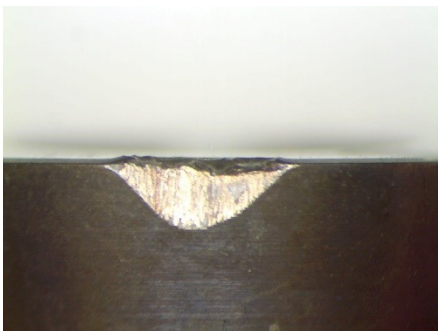
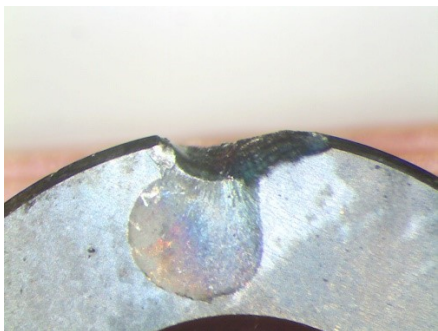
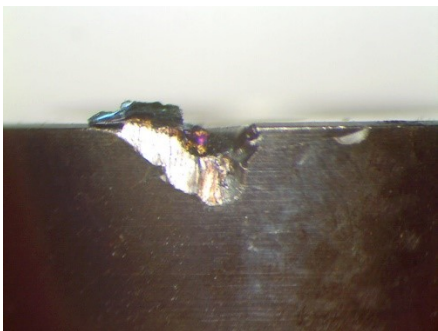


Obrázek 4.4.b – Přípravek pro měření opotřebení

4.5. Řezné podmínky

Původní požadované řezné podmínky pro testování obsahovaly příliš vysokou řeznou rychlost (150 m/min), která vedla k velice rychlému a velkému opotřebení bříty. Z tohoto důvodu byla řezná rychlost postupně snižována, aby se dosáhlo vyšších trvanlivostí. Zároveň bylo stanoveno kritérium pro měření trvanlivosti bříty nástroje na hodnotu opotřebení hřbetu VB 0,7 mm, v reakci na zvýšení zatížení stroje při této hodnotě.

Tabulka 4.5.a – Trvanlivosti bříty v průběhu optimalizace řezné rychlosti při použití vzorku 1

Čas měření [s]	Čelo VBD	Hřbet VBD
40 (při řezné rychlosti 150 m/min)		
50 (při řezné rychlosti 120 m/min)		
240 (při řezné rychlosti 90 m/min)		


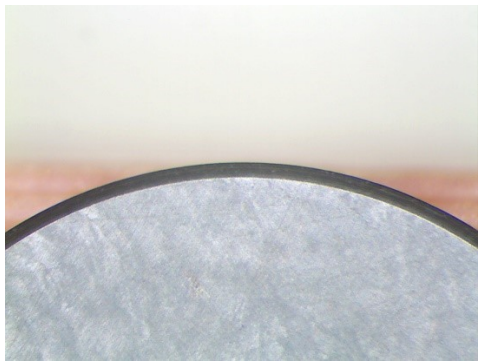
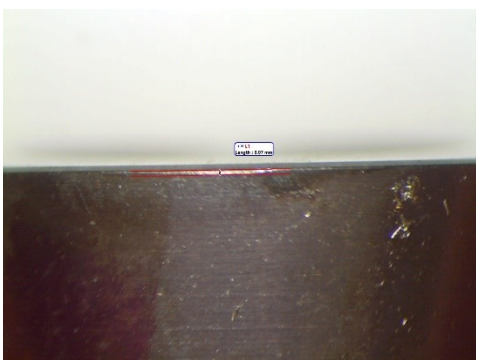
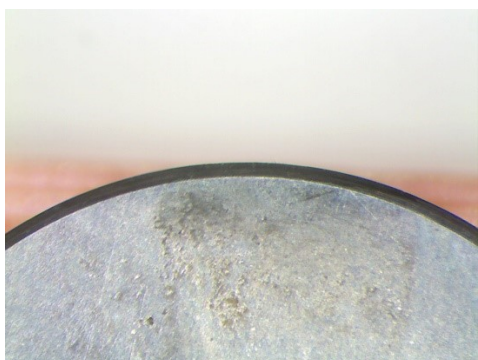
Tabulka 4.5.b – Řezné podmínky pro testování

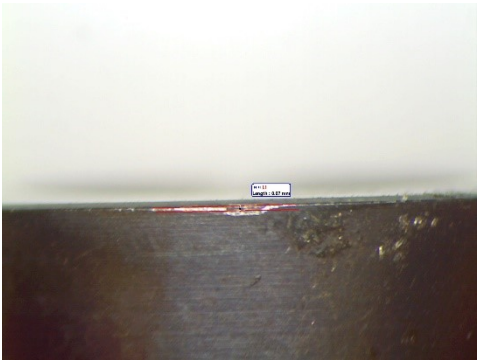
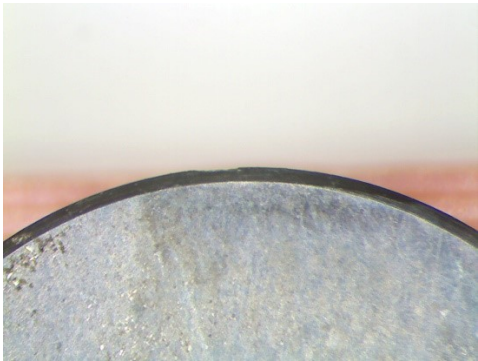

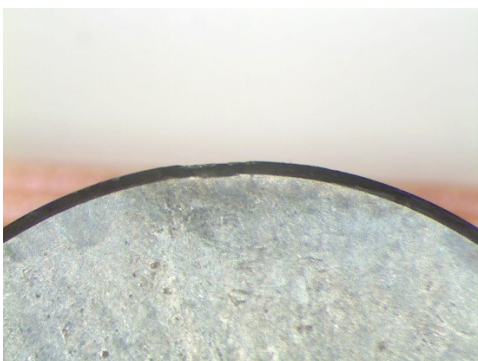
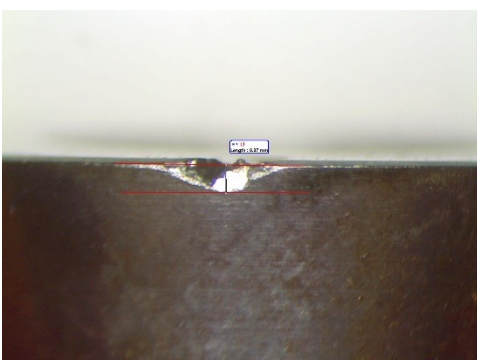
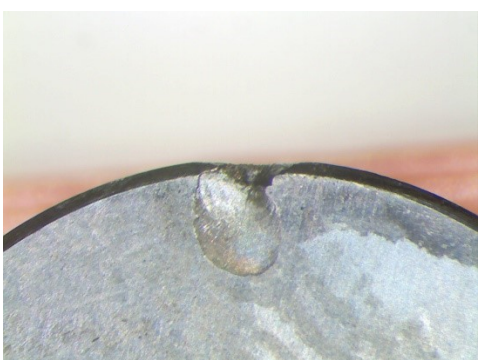
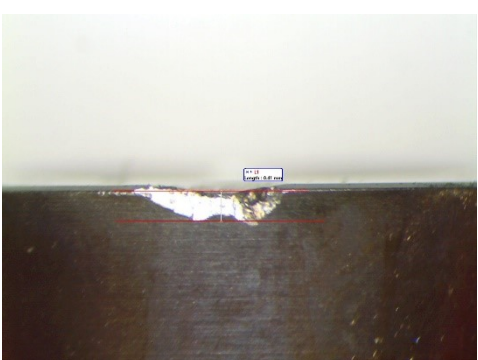
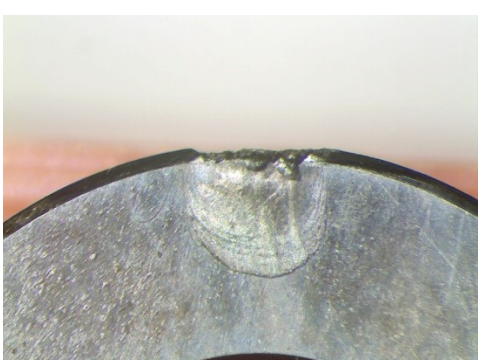
Efektivní průměr [mm]	29,63
Řezná rychlost [m/min]	70
Otáčky [min^{-1}]	752
Posuv na zub [mm/z]	0,3
Hloubka řezu [mm]	1

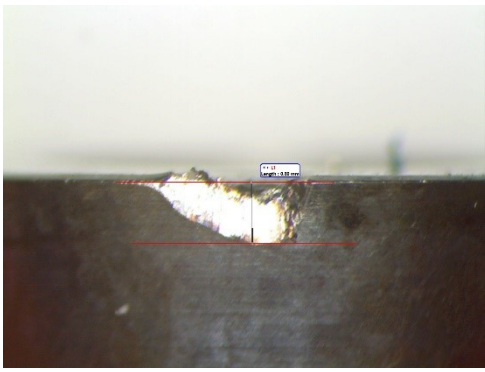
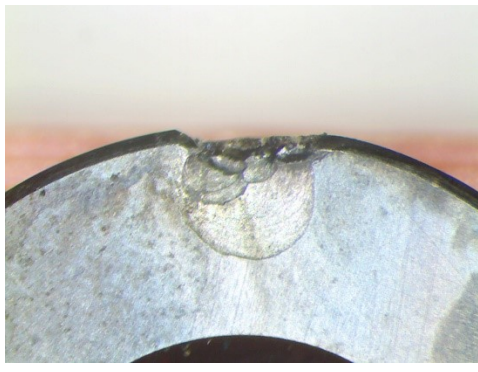
Testování bylo realizováno suchým obráběním.

4.6. Výsledky měření

Tabulka 4.6.a – Vzorek 1


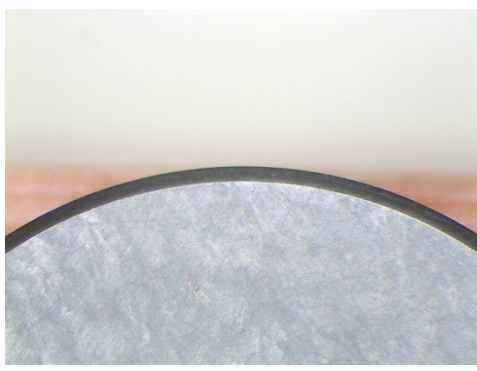
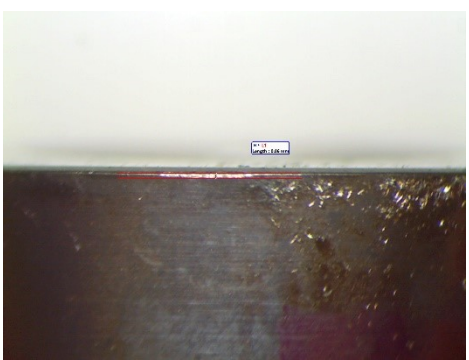
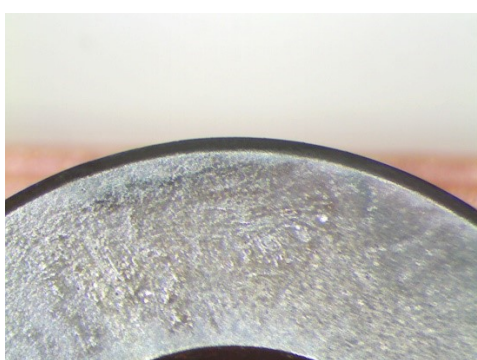
Čas [s]	Hřbet VBD	Čelo VBD
0		
160	 Opotřebení VB = 0,07 mm	


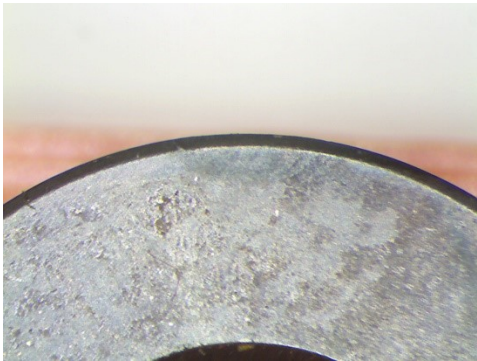

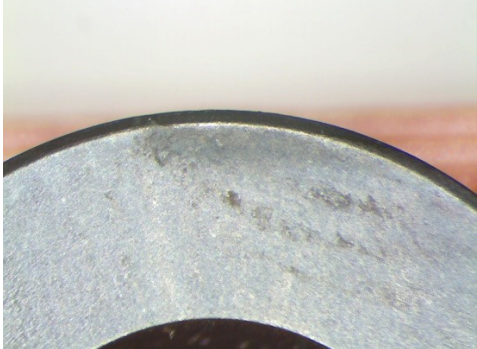
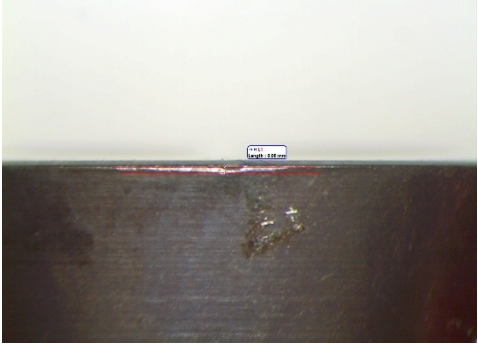
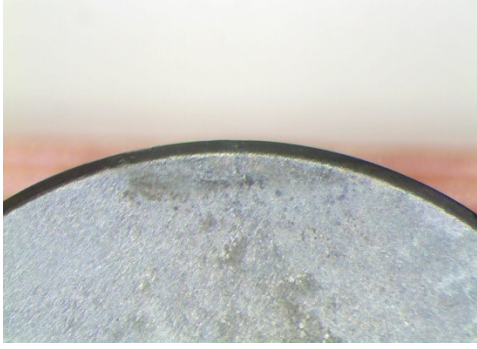

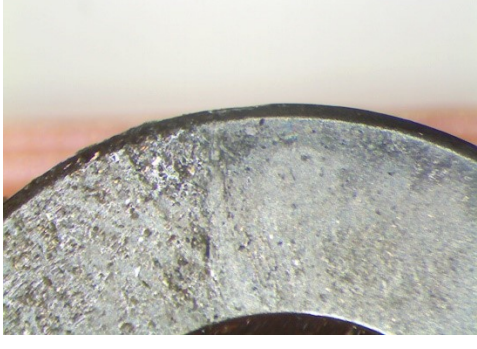
320	 <p data-bbox="400 577 746 618">Opotřebení VB = 0,07 mm</p>	
480	 <p data-bbox="400 1014 746 1055">Opotřebení VB = 0,10 mm</p>	
640	 <p data-bbox="400 1451 746 1491">Opotřebení VB = 0,37 mm</p>	
800	 <p data-bbox="400 1888 746 1928">Opotřebení VB = 0,41 mm</p>	

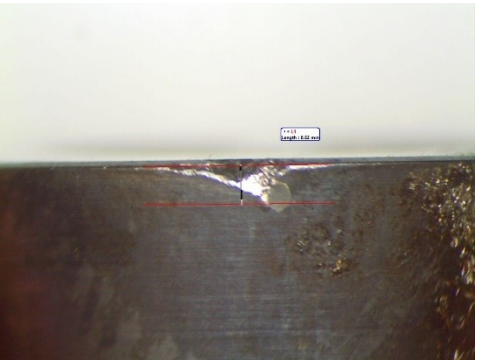
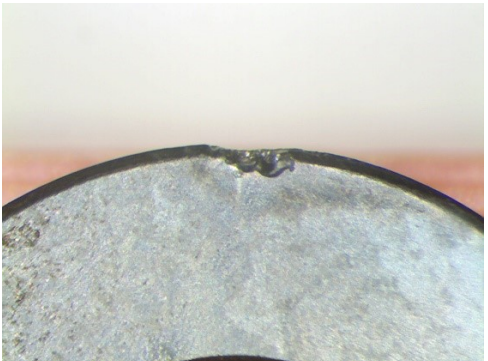
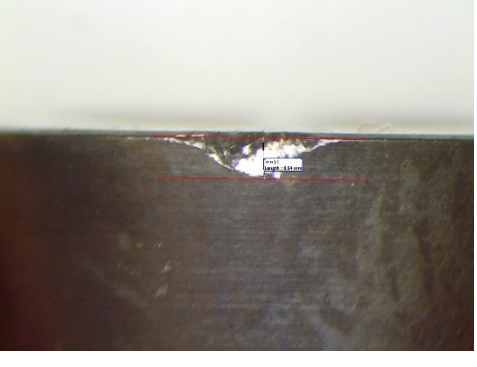
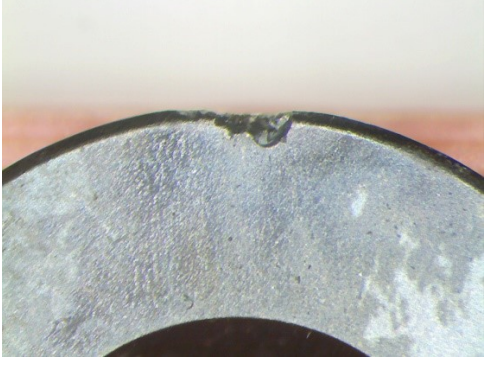
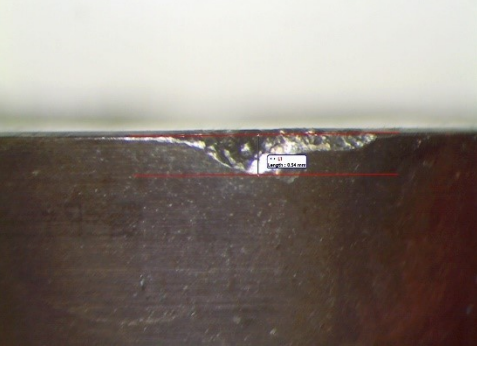
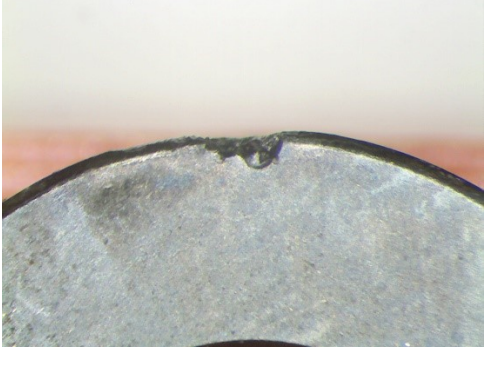
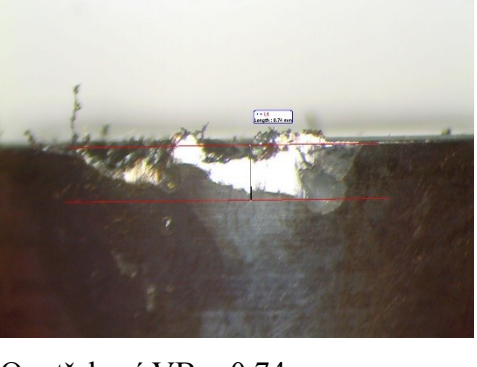
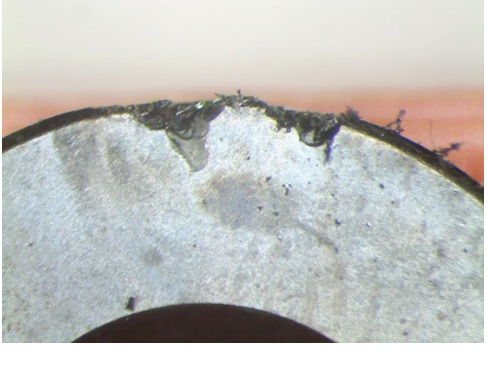
920	 <p>Opotřebení VB = 0,80 mm</p>	
-----	--	--

Naměřená hodnota trvanlivosti vzorku číslo 1 byla 15,33 min. V čase 920 s došlo k náhlému zvýšení zátěže stroje a zintenzivnění zvuku při obrábění. Testování bylo zastaveno a následně byla naměřena hodnota opotřebení 0,80 mm.

Tabulka 4.6.b – Vzorek 2


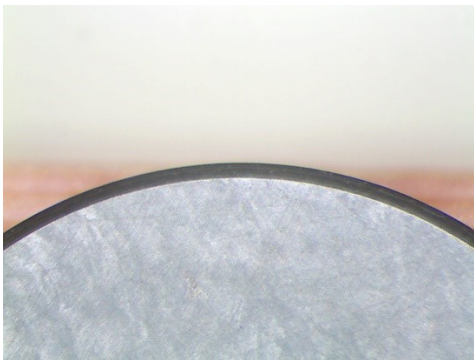

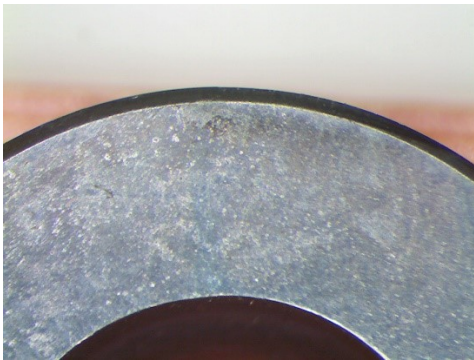
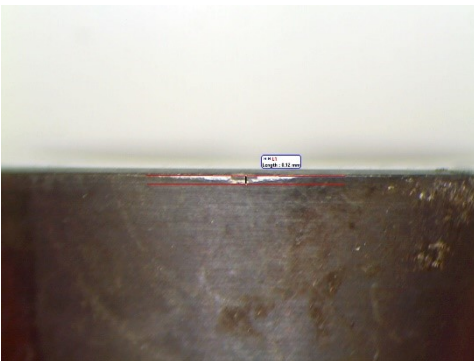
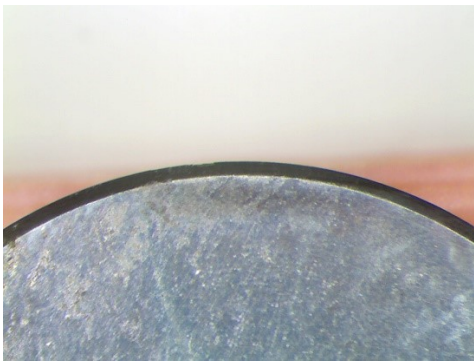
Čas [s]	Hřbet VBD	Čelo VBD
0		
160	 <p>Opotřebení VB = 0,06 mm</p>	

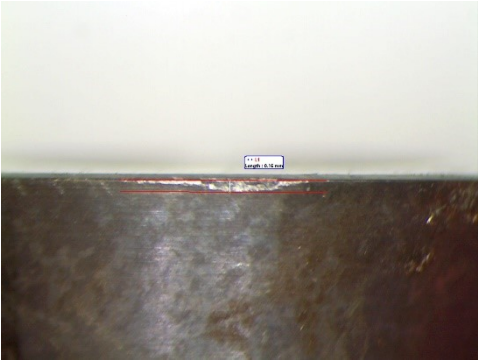
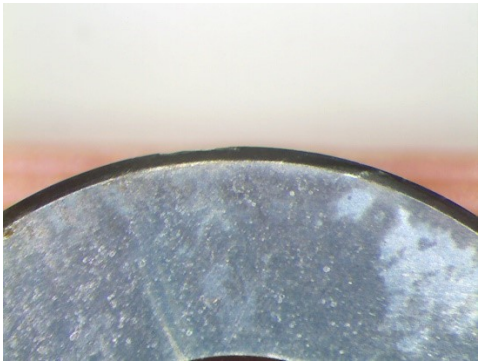

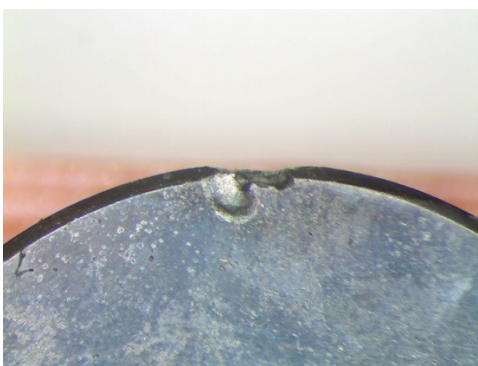
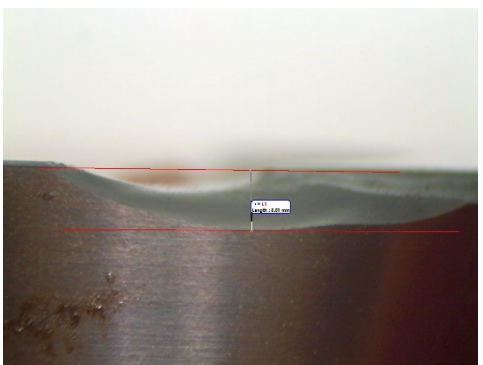
320	 <p data-bbox="392 577 742 616">Opotřebení VB = 0,07 mm</p>	
480	 <p data-bbox="392 1016 742 1055">Opotřebení VB = 0,08 mm</p>	
640	 <p data-bbox="392 1467 742 1505">Opotřebení VB = 0,08 mm</p>	
800	 <p data-bbox="392 1917 742 1955">Opotřebení VB = 0,12 mm</p>	

960	 <p>Opotřebení VB = 0,52 mm</p>	
1120	 <p>Opotřebení VB = 0,54 mm</p>	
1320	 <p>Opotřebení VB = 0,54 mm</p>	
1580	 <p>Opotřebení VB = 0,74 mm</p>	

Naměřená hodnota trvanlivosti vzorku číslo 2 byla největší ze všech šesti testovaných vzorků, a to 26,33 min. V čase 1580 s došlo k náhlému zvýšení zátěže stroje a zintenzivnění zvuku při obrábění. Testování bylo zastaveno a následně byla naměřena hodnota opotřebení 0,74 mm.


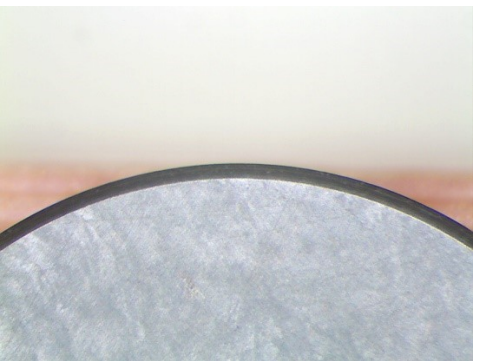
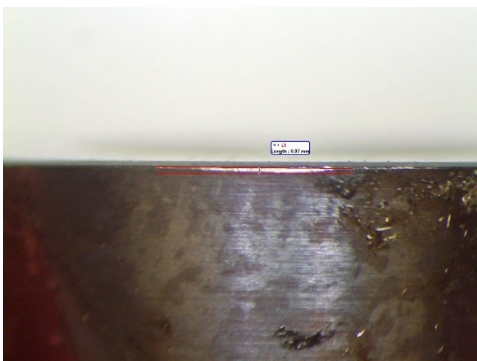
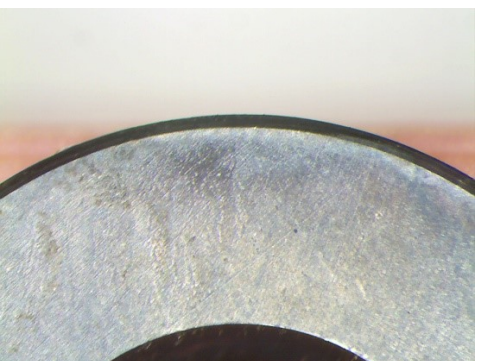
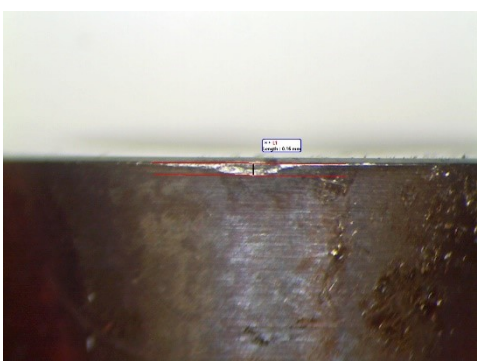

Tabulka 4.6.c – Vzorek 3

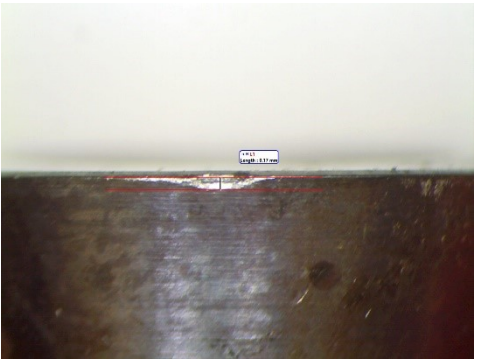
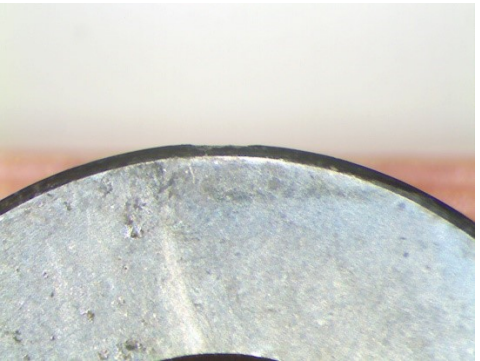
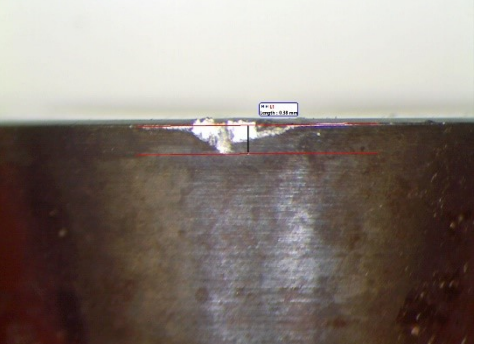
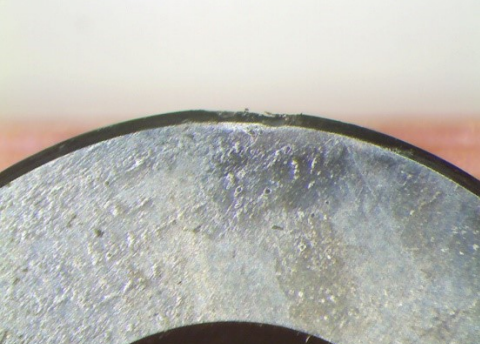
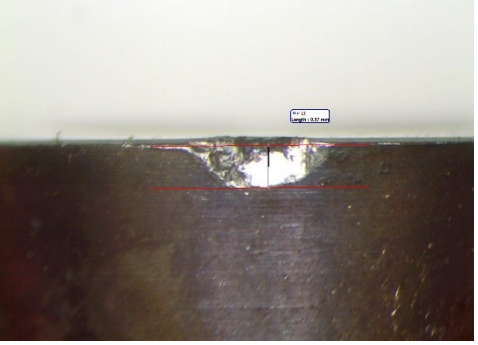
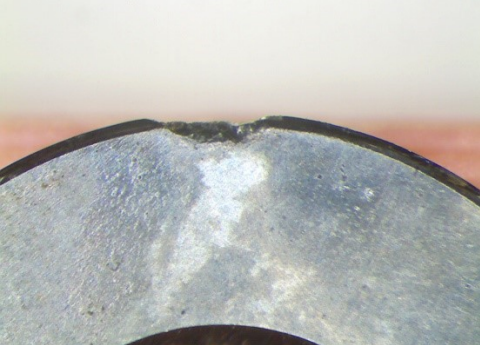
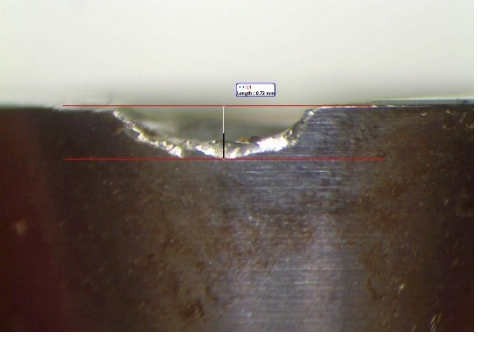

Čas [s]	Hřbet VBD	Čelo VBD
0		
160	 Opotřebení VB = 0,07 mm	
320	 Opotřebení VB = 0,12 mm	

480	 <p data-bbox="403 577 754 618">Opotřebení VB = 0,16 mm</p>	
640	 <p data-bbox="403 1019 754 1059">Opotřebení VB = 0,51 mm</p>	
770	 <p data-bbox="403 1460 754 1500">Opotřebení VB = 0,81 mm</p>	<p data-bbox="911 1081 1294 1167">Čelní plocha VBD byla příliš poškozena.</p>

Naměřená hodnota trvanlivosti vzorku číslo 3 byla 12,83 min. V čase 770 s došlo k náhlému vylomení bříty. Testování bylo zastaveno a následně byla naměřena hodnota opotřebení 0,81 mm.


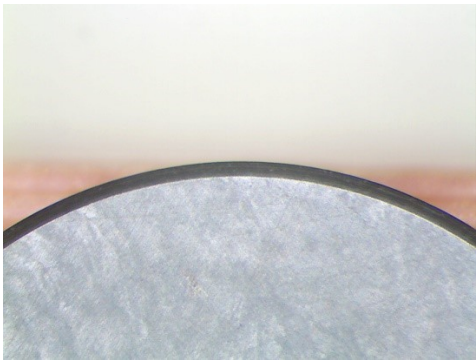
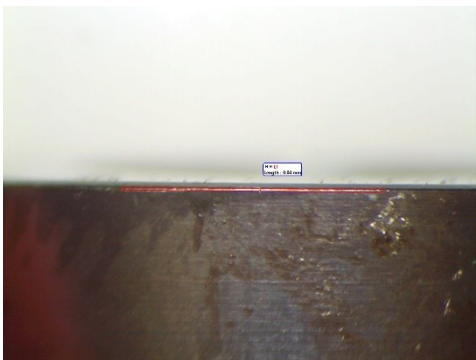
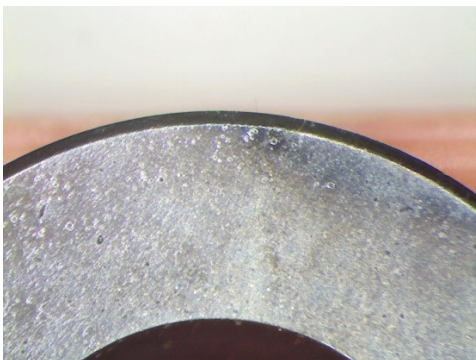
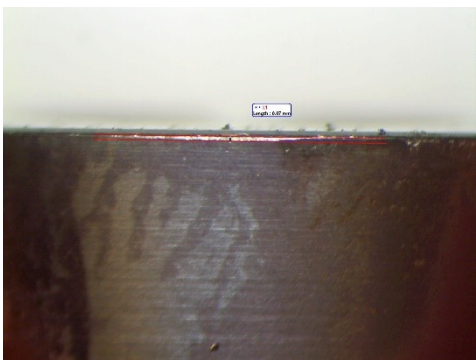
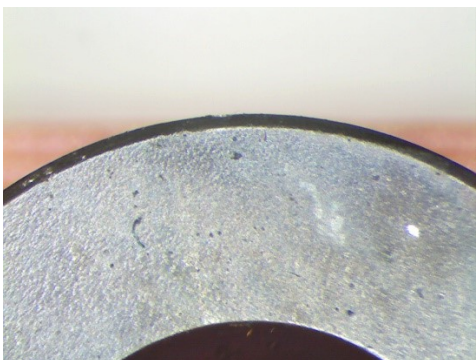
Tabulka 4.6.d – Vzorek 4

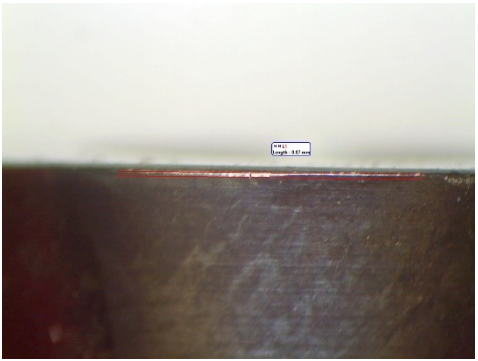
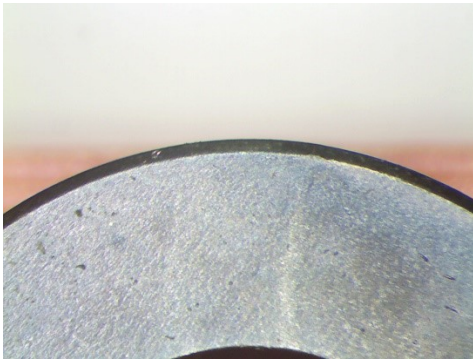
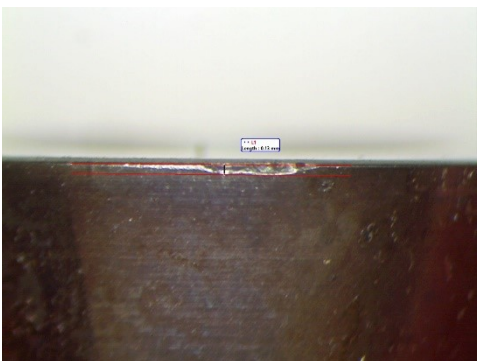
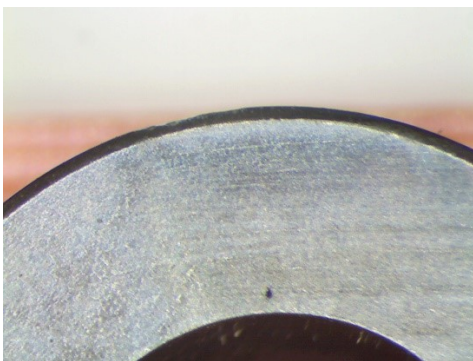
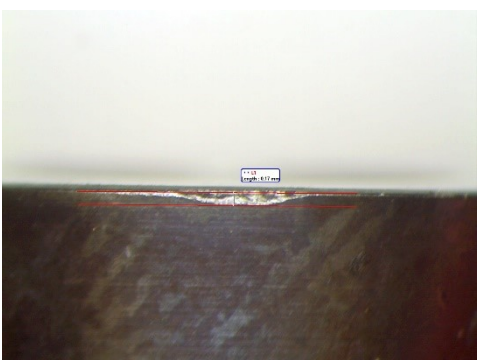
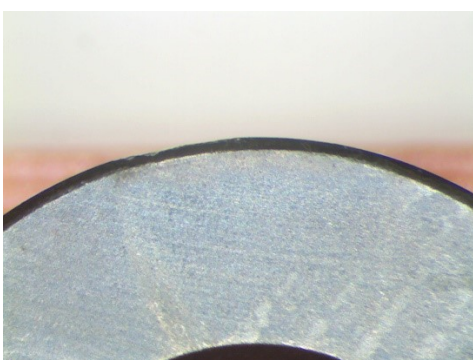
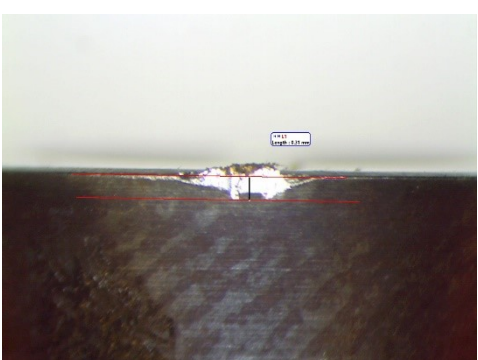
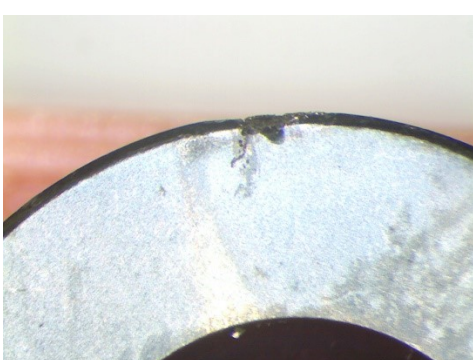
Čas [s]	Hřbet VBD	Čelo VBD
0		
160	 Opotřebení VB = 0,07 mm	
320	 Opotřebení VB = 0,16 mm	

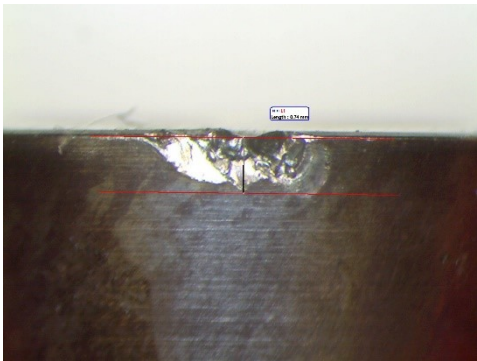
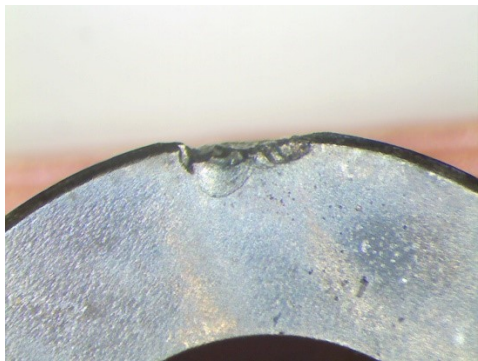
480	 <p>Opotřebení VB = 0,17 mm</p>	
640	 <p>Opotřebení VB = 0,38 mm</p>	
800	 <p>Opotřebení VB = 0,57 mm</p>	
960	 <p>Opotřebení VB = 0,72 mm</p>	

Naměřená hodnota trvanlivosti vzorku číslo 4 byla 16 min. V čase 960 s došlo k náhlému vylomení bříty. Testování bylo zastaveno a následně byla naměřena hodnota opotřebení 0,72 mm.

Tabulka 4.6.e – Vzorek 5


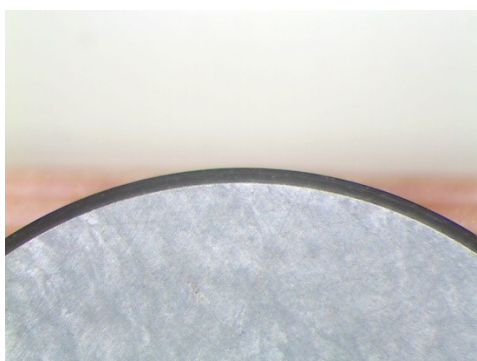

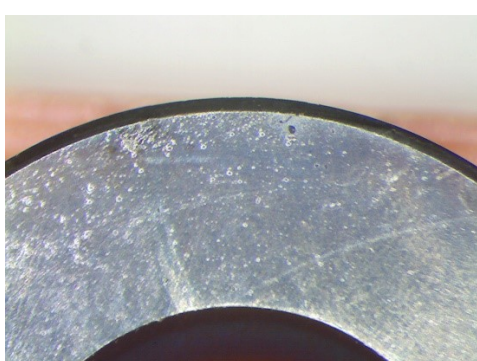
Čas [s]	Hřbet VBD	Čelo VBD
0		
160	 <p>Opotřebení VB = 0,04 mm</p>	
320	 <p>Opotřebení VB = 0,07 mm</p>	

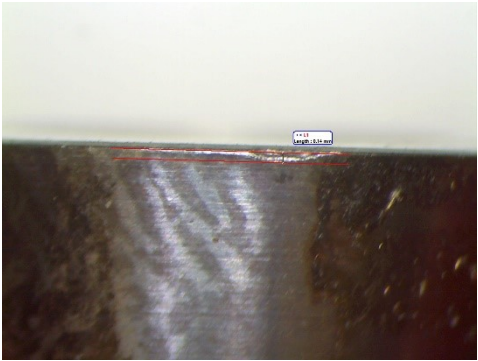
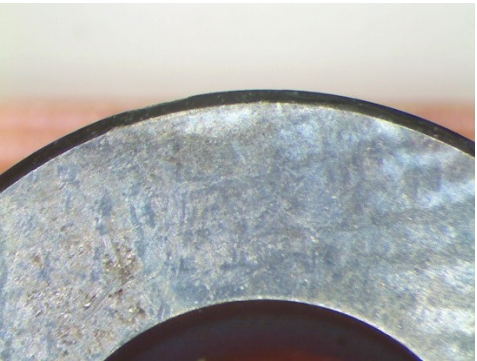
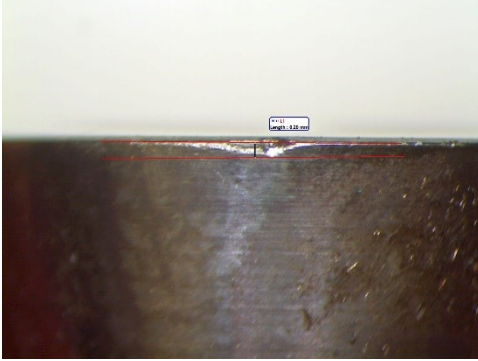
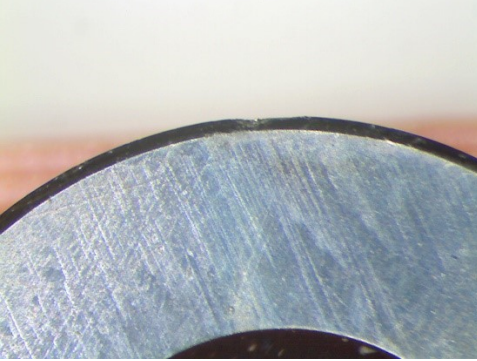
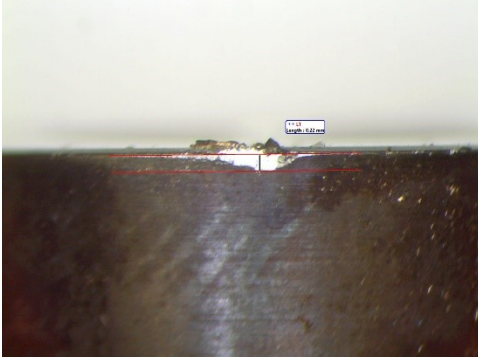
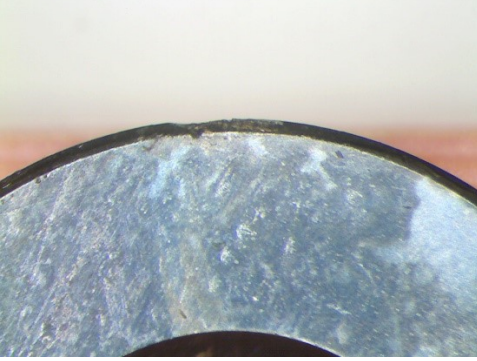
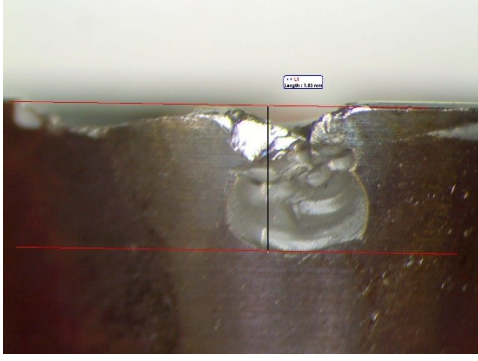

480	 <p>Opotřebení VB = 0,07 mm</p>	
640	 <p>Opotřebení VB = 0,13 mm</p>	
800	 <p>Opotřebení VB = 0,17 mm</p>	
960	 <p>Opotřebení VB = 0,31 mm</p>	

1120	 Opotřebení VB = 0,74 mm	
------	--	--

Naměřená hodnota trvanlivosti vzorku číslo 5 byla 18,67 min. V čase 1120 s došlo k náhlému zvýšení zátěže stroje a zintenzivnění zvuku při obrábění. Testování bylo zastaveno a následně byla naměřena hodnota opotřebení 0,74 mm.

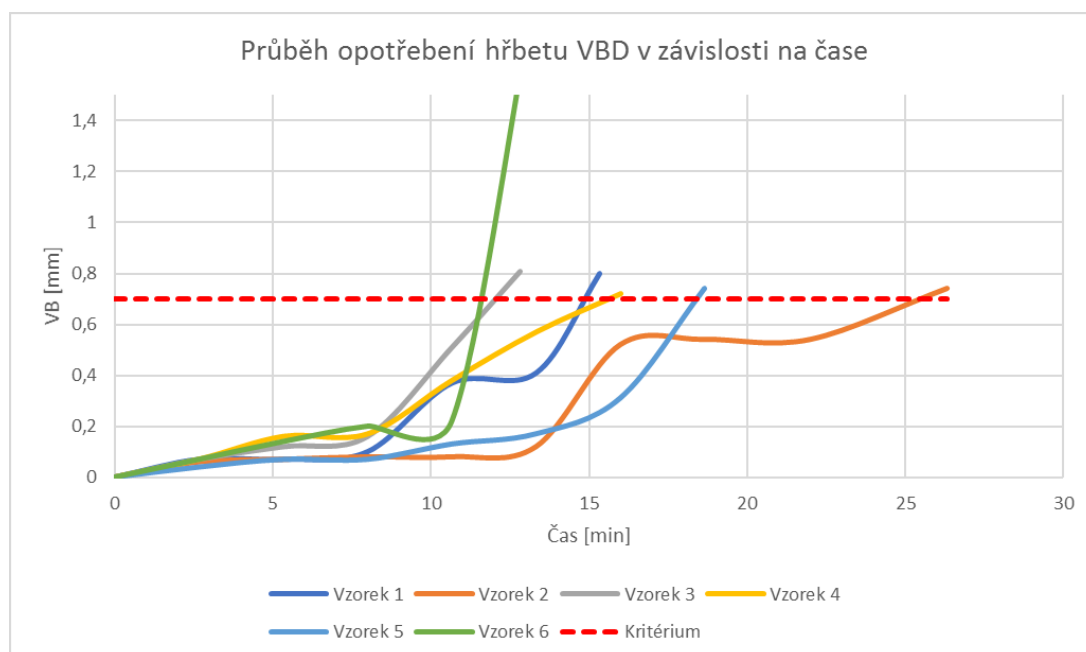
Tabulka 4.6.f – Vzorek 6

Čas [s]	Hřbet VBD	Čelo VBD
0		
160	 Opotřebení VB = 0,07 mm	

320	 <p data-bbox="392 577 742 613">Opotřebení VB = 0,14 mm</p>	
480	 <p data-bbox="392 1025 742 1061">Opotřebení VB = 0,20 mm</p>	
640	 <p data-bbox="392 1473 742 1509">Opotřebení VB = 0,22 mm</p>	
800	 <p data-bbox="392 1921 742 1957">Opotřebení VB = 1,93 mm</p>	 <p data-bbox="906 1921 1214 1957">Vylomení břitu nástroje</p>

Naměřená hodnota trvanlivosti vzorku číslo 6 byla 13,33 min. V čase 800 s, při výjezdu z materiálu, došlo k náhlému vylomení břitu. Testování bylo zastaveno a následně byla naměřena hodnota opotřebení 1,93 mm. V tomto případě byl průběh opotřebení postupný, ovšem po vylomení břitu bylo opotřebení skokově navýšeno.

Graf 4.6. – Průběh opotřebení hřbetu v závislosti na čase



5. Technicko-ekonomické zhodnocení

Jako nejvýhodnější se na základě provedeného experimentu při obrábění kalené nástrojové oceli dle ČSN 19 552 jeví vzorek VBD číslo 2, i přesto, že se nejedná o technologicky a časově nejnáročnější úpravu řezné hrany. Rozdíly v trvanlivosti mezi konvenčními úpravami řezné hrany a dodatečnou úpravou vlečného omílání se projevíly mírným zvýšením trvanlivosti.

Nelze ovšem dělat závěry pouze z jednoho testování, neboť na hodnoty trvanlivosti a stabilitu řezného procesu má vliv spousta dalších okolností. Zejména při obrábění tvrdých materiálů jde především o celkovou tuhost stroje, aby se zabránilo vibracím a při obrábění kalených materiálů je důležitý také intenzivní odvod třísek z místa řezu.

U třech vzorků VBD došlo ke křehkému lomu a odštípnutí čela VBD. Odštípnutí bylo zřejmě způsobeno právě najetím na špatně odvedenou třísku nebo příliš vysokou řeznou rychlostí a příliš vysokou křehkostí VBD.

Závěr

Bakalářská práce se zabývá návrhem nejvhodnější úpravy řezné hrany pro obrábění kalených materiálů. V úvodní části je rozdělení a charakteristika tvrdých materiálů spadajících do skupiny H dle ISO 513, dále se bakalářská práce zabývá problematikou obrábění tvrdých materiálu a principem používaných metod obrábění. Závěr teoretické části patří nástrojovým materiálům a možným technologiím úpravy řezné hrany u VBD, zejména ze SK.

V praktické části bylo hlavním cílem porovnat vliv jednotlivých úprav řezné hrany na trvanlivost břitu nástroje a zhodnotit výsledky měření. Na základě testování VBD a jejich opotřebení, byla doporučena nejvhodnější úprava řezné hrany.

Seznam použité literatury

- [1] O společnosti Dormer Pramet [online]. [cit. 6.12.2018]. Dostupné z:
<https://www.dormerpramet.com/cs-cz/company/our-company>
- [2] DAVIM, J. Paulo. *Machining of Hard Materials*. London: Springer, [2011]. ISBN 978-1-84996-449-4.
- [3] Obráběné materiály. *SANDVIK* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z:
<https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/pages/workpiece-materials.aspx>
- [4] Katalog pro školy. *Dormer Pramet* [online]. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z:
<https://www.prametheus.cz/admin/files/ModuleText/26/catalogue-prametheus-2017-complete-screen-j.pdf>
- [5] BENEŠ, Libor. Základy tepelného zpracování kovů. *Libor Beneš* [online]. 17.11.2013 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z:
<http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/tepelnezpracovani/Zaklady%20tepelneho%20zpracovani%20kovu%20+++++.docx>
- [6] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění I. část* [online]. Vysoké učení technické v Brně, 2003 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z:
http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [7] BENEŠ, Libor. Oceli a litiny podle skript ČVUT. *Libor Beneš* [online]. 24.9.2014 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z:
<http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/mattech/Oceli%20a%20litiny%20-%20podle%20skript%20CVUT%202012%20+++++.docx>
- [8] Důležité aspekty vysokorychlostního obrábění. *MM* [online]. 11.12.2002, **2002** [cit. 2019-05-05]. Dostupné z:
<https://www.mmspektrum.com/clanek/dulezite-aspekty-vysokorychlostniho-obrabeni.html>

- [9] Suché frézování materiálu Ti₆Al₄V vysokými rychlostmi. *MM* [online]. 19.12.2006, **2006** [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/suche-frezovani-materialu-ti6al4v-vysokymi-rychlostmi.html>
- [10] *Nástrojové materiály* [online]. 2013 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: http://u12134.fsid.cvut.cz/podklady/ON/2013_1_Nastrojove_materialy.pdf
- [11] OTÁHAL, Daniel. Progresivní metody frézování a jejich vliv na proces řezání. [s.l.], 2007. 98 s. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Fakulta strojní. Dizertační práce.
- [12] VYDRA, Radek. *Vliv zaoblení ostří nástroje na dynamické zatížení soustavy při obrábění* [online]. 2016 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/115043/VYD0008_FS_N2301_2_303T002_20_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=n . Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.
- [13] MORÁVEK, Michal. *Vliv mikrogeometrie cermetových řezných nástrojů na proces obrábění* [online]. 2014 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://otik.zcu.cz/bitstream/11025/14125/1/Vliv%20mikrogeometrie%20cermetovych%20reznych%20nastroju%20na%20proces%20obrabeni.pdf> . Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Ing. Ivana Česáková.
- [14] Dokonalé povrchy řezných nástrojů. *MM* [online]. 10.05.2017. **2017** [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/dokonale-povrchy-reznych-nastroju.html>
- [15] Tepelné zpracování oceli. *Věda hrou* [online]. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://ebook.veda-hrou.cz/cms/14-kapitola-4-tepelne-zpracovani-oceli.html>

- [16] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje* [online]. Vysoké učení technické v Brně, 2006 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf
- [17] *HSS cutting tools* [online]. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://3.imimg.com/data3/QY/YF/MY-3273157/hss-cutting-tools-500x500.jpg>
- [18] Nástroje ze slinutého karbidu. In: *Sumicarbide* [online]. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://sumicarbide.com/wp-content/uploads/2014/11/img-recycling2.jpg>
- [19] VBD z řezné keramiky. In: *Ostravská univerzita* [online]. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/Img/030015a.jpg>
- [20] *DMU 50* [online]. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: https://media.dmgmori.com/media/epaper/DMU_50_2G_uk/index.html#14
- [21] Materiálový list. *Bolzano* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/Nastrojove_oceli/MOP_X37CrMoV5-1.pdf
- [22] ČEP, Robert. *Technologie II - 2. díl*. In: *Fakulta strojní, VŠB - Technická Univerzita Ostrava 346 - Katedra obrábění a montáže doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D.* [online]. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf
- [23] Mechanické zatížení při frézování. *Strojírenství* [online]. 2017, 24.8.2017 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.strojirenstvi.cz/mechanicke-zatizeni-pri-frezovani>